



PFR ENVIRONMENTAL, S.A.
LABORATORIO DE ANÁLISIS
AMBIENTALES

Minera  Panamá

PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA) CATEGORÍA III

INFORME DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE EFECTOS AMBIENTALES: ECOSISTEMA MARINO COSTERO

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13107 13217 13234	Septiembre 2022	PFR ENVIRONMENTAL, SA	28-04-2023



ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

1.	<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2.	<u>OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA</u>	3
3.	<u>METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS</u>	4
3.1.	Sitios de muestreo y actividades realizadas	4
3.2.	Metodología para el estudio de la calidad del agua marina.....	7
3.3.	Metodología para el estudio de metales pesados en sedimentos y biota	7
3.4.	Monitoreo de hábitats rocosos (comunidades de fondos duros).....	8
3.5.	Monitoreo de biología marina (comunidades de fondos blandos y peces)	10
3.6.	Monitoreo de rompeolas.....	11
4.	<u>RESULTADOS MARINO-COSTEROS</u>	14
4.1.	Calidad de aguas.....	14
4.2.	Calidad de sedimentos.....	20
4.3.	Análisis de metales pesados en pez león	28
4.4.	Hábitats de fondos duros	29
4.5.	Hábitats de fondos blandos	47
4.6.	Estudio de la comunidad de peces	55
5.	<u>RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL ROMPEOLAS</u>	66
5.1.	Estudio de fondos duros.....	66
5.2.	Estudio de la comunidad de peces	68
6.	RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ICTIOPLANCTON EN EL INTAKE.....	71
7.	<u>ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES</u>	73
8.	<u>ESTADO ECOLÓGICO</u>	80
8.1.	Justificación	80
8.2.	Metodología.....	80
8.3.	Resultados. Valoración del estado ecológico marino-costero.....	84
9.	<u>CONCLUSIONES</u>	87
10.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	91



RESUMEN EJECUTIVO

Para cumplir los compromisos del EsIA, los objetivos del presente Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM) se centran en monitorear la calidad del agua, sedimentos, hábitats de fondos duros y blandos y comunidades de peces con el fin de estudiar los posibles efectos de las actividades portuarias y de la mina en la zona marino-costera de Punta Rincón. Los resultados obtenidos en estos monitoreos permitirán evaluar si los mecanismos de control establecidos son efectivos para la protección del medio marino-costero cercano a las operaciones y, en su caso, proponer recomendaciones para mejorarlos.

Para cumplir con estos objetivos, se ha completado el primer monitoreo semestral del año 2022 durante los días 15 al 18 de septiembre de 2022 en la zona de Punta Rincón. Se emplearon los mismos seis (6) sitios de muestreo que en años anteriores (HB-R3 y HB-R33 representativo de zonas profundas lejanas y HB-R12, HB-R15, HB-R18 y HB-CE de zonas someras cercanas y referencia), además de cuatro (4) sitios: HB-T1 y HB-T2 próximos al muelle de descarga del puerto y HB-E-4 y HB-E-10 más alejados del puerto. Asimismo, se incluyeron los siete (7) sitios en el rompeolas (RO1 al RO7).

Las medidas de parámetros físico-químicos del agua marina indican altas concentraciones de oxígeno disuelto, con valores de salinidad y pH propias de agua de mar y baja turbidez del agua. Los metales pesados en agua se mantienen por debajo de los límites de detección de los métodos analíticos empleados. Se destaca que en ningún sitio se incumplen los límites de los parámetros establecidos en la norma de Panamá.

La composición granulométrica del sedimento es relativamente homogénea entre los diferentes sitios, predominando las arenas finas a medias, sin diferencias significativas entre las muestras. Las concentraciones de COT y cianuros en sedimento son muy bajas o por debajo del límite de detección (LD). Los Hidrocarburos Totales de Petróleo y MEH presentan una concentración muy baja e indicativo de nula contaminación por estos compuestos.

Los resultados para metales en sedimentos muestran que las concentraciones de cadmio, cromo, plomo y zinc han sido muy bajas y por debajo del valor guía de la norma canadiense, con escasos o nulos efectos en la biota marina. Con excepción de los sitios HB-R3, HB-R33, HB-R15 y HB-R18, el cobre ha superado el valor de referencia, sin llegar a alcanzar el valor guía más alto. Cabe destacar, que estos límites se han tomado como valores de referencia, al no disponer Panamá de legislación al respecto. Estos valores están asociados con unos efectos probables en la biota propia de las aguas frías de Canadá, sin relación probada con los efectos en la biota de las aguas subtropicales de la costa del Caribe en Panamá.

Las concentraciones de metales pesados en tejidos del pez león han sido bajas en todos los sitios de muestreo y por debajo de los límites de las normas de referencia europeas.

Los porcentajes de cobertura de las diferentes formas biológicas de los hábitats de fondos duros (corales, esponjas, algas, etc) son semejantes a los registrados en años anteriores y sin cambios destacables con respecto al monitoreo considerado como línea base. Predominan el grupo de esponjas y una alta diversidad de corales, con comunidades más biodiversas en los fondos profundos.



Los fondos blandos presentan comunidades infaunales poco alteradas y con una composición de especies variable, destacando la estación HB-R12, al contar en este monitoreo con un mayor número y riqueza de especies, un amplio grupo de estaciones (HB-T1, HB-E-10, HB-T2, HB-CE y HB-E-4) con menor densidad y riqueza de especies que se corresponden con las zonas intermedias o someras en profundidad, los sitios HB-R12 y HB-R15 de zonas someras, con moderadas a altas densidades; y los sitios más profundos (HB-R3 y HB-R33), con similitud de especies y moderadas densidades.

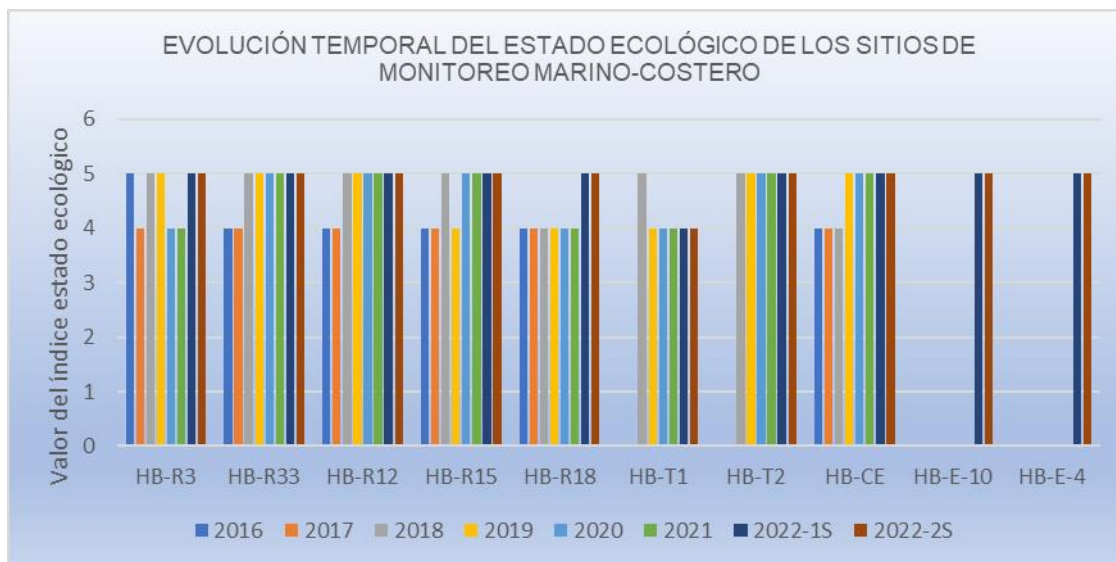
La comunidad de peces de los fondos duros profundos presentó una menor densidad y riqueza de especies de peces, mientras que en los fondos duros someros se registraron mayores densidades y riqueza de especies, En ambos casos, la comunidad íctica presenta una estructura y composición típica de las aguas costeras del Caribe (BOHLKE, et al 1993, BUSSING, 1987 y BUSSING, W.A. 1998). En los sitios HB-T1 y HB-T2 próximo al puerto se registraron muy pocos individuos de peces y especies, debido a que no reúne hábitats apropiados para la fauna íctica. En este monitoreo no se registró blooms de tamborín. La abundancia relativa del pez león fue de 1-5% para el fondo somero y de 10% para el fondo profundo. Se observa, con respecto a años anteriores, que la especie se mantiene en los mismos porcentajes y densidades, con pequeñas variaciones.

El seguimiento del rompeolas muestra una lenta, pero progresiva colonización por grupos biológicos (colonias de corales y esponjas) en su parte interna que parece se va afianzando con el tiempo, y presenta un número significativo de peces con una clara diferencia entre los valores de abundancia (densidad) y los índices de diversidad de la parte externa con respecto a la interna, con una comunidad mejor estructurada y más diversa en los transeptos no expuestos a mar abierto y situados en el interior del rompeolas.

Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces en el intake de la central térmica fue relativamente bajo (13-19 ind/m³ para larvas y 32-41 ind/m³ para huevos), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que son del orden de 50-100 ind/m³ para huevos y de 30-50 ind/m³ para larvas en el Caribe. La composición de especies en las larvas analizadas refleja la composición de peces registrada en los monitoreos marino-costeros.

En relación con los objetivos del estudio, se concluye que la tendencia de los indicadores estudiados en este monitoreo y en los años anteriores, no ha mostrado variaciones significativas con respecto a la línea base. En este sentido, no se aprecia una tendencia hacia un peor estado de salud de los ecosistemas marino-costeros asociados con las actividades de operación de la mina y el puerto. Por consiguiente, los mecanismos de control establecidos están siendo efectivos para la protección del medio marino-costero en Punta Rincón.

Para complementar el análisis de tendencias de los indicadores, se ha evaluado el estado ecológico del medio marino-costero, integrando los elementos físico-químicos y biológicos, que en su conjunto describen cómo se comporta el ecosistema acuático frente a posibles impactos y si se han producido cambios en su estructura o funcionamiento. En la figura adjunta se resume la evolución temporal para el período 2016-2022 de este indicador.



Evolución del estado ecológico de los sitios de monitoreo
(Valores del índice de estado ecológico: 1= malo; 2= deficiente; 3= moderado; 4= bueno y 5= muy bueno)

A la vista de la evolución temporal del estado ecológico de las aguas marino-costeras, se destaca que durante todos los años se ha clasificado el estado ecológico en el entorno del puerto y mina en Punta Rincón como MUY BUENO a BUENO.



1. INTRODUCCIÓN

Minera Panamá S.A. está desarrollando el proyecto Mina de Cobre Panamá en el distrito de Donoso, provincia de Colón, situado en el sector central-norte de Panamá. El Proyecto excava y procesa mineral de sulfuro de cobre que ha sido definido en una concesión de 13.000 hectáreas que está ubicada a 120 km al oeste de la Ciudad de Panamá y a 20 km de la costa del mar del Caribe. El proyecto incluye, además, instalaciones portuarias en Punta Rincón, que permiten la carga de concentrado y la descarga de carbón asociado con el funcionamiento de la termoeléctrica de 300 MW.

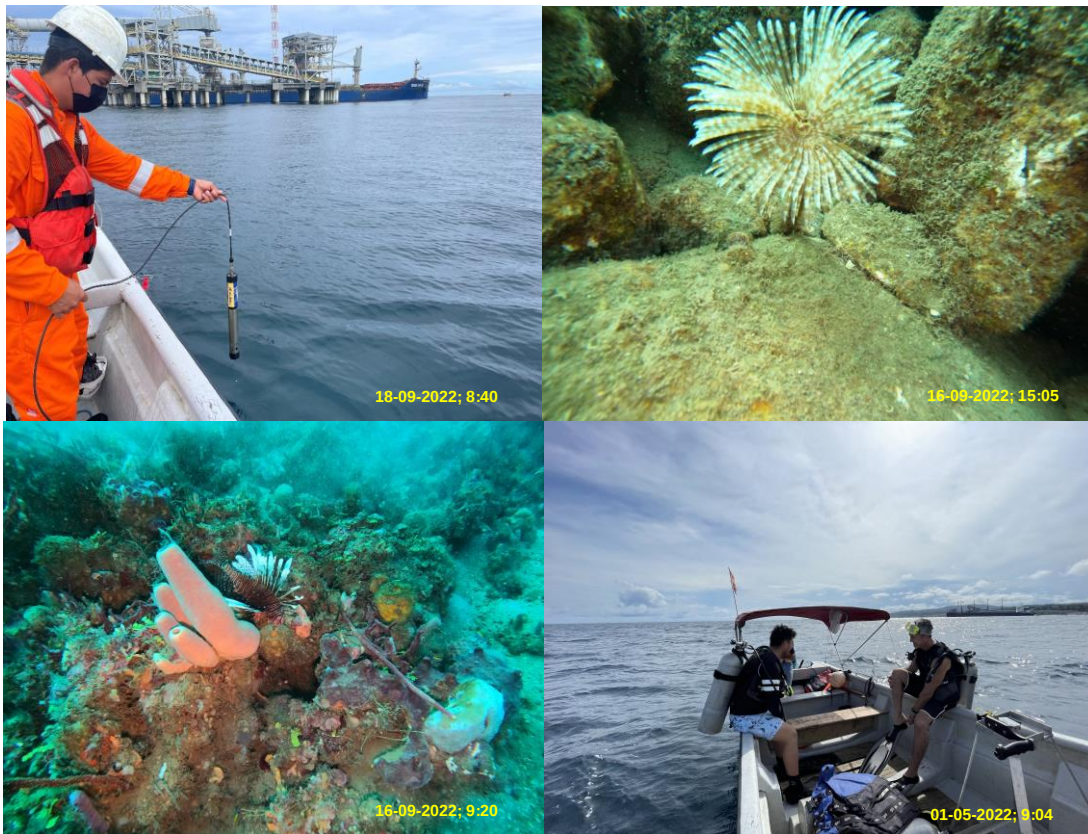
Plano 1. Ubicación del proyecto de Minera Panamá

Estas actividades tienen el potencial de impactar los aspectos biológicos y físico-químicos del medio ambiente acuático marino-costero y, por lo tanto, se necesita un programa de monitoreo para evaluar la efectividad de las medidas de control y mitigación.

En el presente Informe se describen la metodología y resultados obtenidos en el segundo monitoreo de los ecosistemas marino-costeros frente al puerto de la mina en Punta Rincón completado los días 15 al 18 de septiembre de 2022, como parte del Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costeros.

Los capítulos principales que contiene el informe son los siguientes:

- Metodología de los trabajos, con una descripción detallada de las metodologías seguidas en los muestreos y análisis físico-químicos –en agua y sedimentos-, biológicos (muestreos de bentos en fondos duros y blandos y estudio de peces) y análisis de metales pesados en agua, sedimento y biota (peces).
- Resultados obtenidos para cada elemento ambiental estudiado, con especial referencia a los indicadores ambientales y su estado de calidad, ya que son los que permitirán seguir la evolución y la tendencia de la calidad y estado ecológico a lo largo del período de actividad de la mina.
- Un análisis de tendencias de los indicadores ambientales, teniendo en cuenta los estudios completados en los últimos monitoreos.



Diferentes momentos de los trabajos realizados para los monitoreos marino-costeros en Punta Rincón durante el mes de septiembre de 2022.



2. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costero, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para el ecosistema marino-costero (calidad de agua, sedimentos, fondo duro y biología marina), mantengan medidas de mitigación que sean efectivas para la protección y viabilidad de estos ecosistemas en la zona de influencia directa del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

Como objetivos específicos se destacan:

- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de la calidad de los sedimentos.
- Asegurar que los procedimientos de manejo son efectivos para limitar los cambios en los sedimentos producto de la sedimentación y otros impactos (por ejemplo, derrames de carbón y concentrado).
- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de los impactos sobre el componente biológico durante la construcción y operación del puerto.
- Monitorear las condiciones estuarinas para evaluar los impactos de la construcción de la mina (por ejemplo, calidad sedimentos y características físicas).
- Evaluación de la efectividad de los controles ambientales durante las operaciones, específicamente alrededor de la desembocadura de las aguas de refrigeración de la planta de energía y alrededor de las instalaciones portuarias, a través del monitoreo de las condiciones químicas, biológicas y físicas.
- Monitoreo y acciones correctivas para evitar mortalidad de la fauna.
- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de hábitat crítico, especialmente el sustrato del hábitat de fondo duro, dentro y alrededor de la huella del proyecto.
- Evaluar si los mecanismos de control establecidos (por ejemplo, el control de sedimentos y operaciones portuarias) son efectivos para la protección del hábitat de fondo duro cercano a las operaciones.
- Apoyar la actualización de los inventarios biológicos dentro del área del proyecto especificados por los compromisos del EsIA (deben actualizarse cada 5 años).

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en el Plan de Monitoreo Ambiental, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo y su grado de afectación por las actividades en el puerto de la mina.

De forma adicional, durante este monitoreo se ha planteado como objetivo colateral –iniciado en el año 2015 con la línea base– la valoración del estado ecológico del medio marino-costero, teniendo en cuenta diferentes indicadores de la calidad biológica y físico-química de aguas y sedimentos marinos.



3. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS

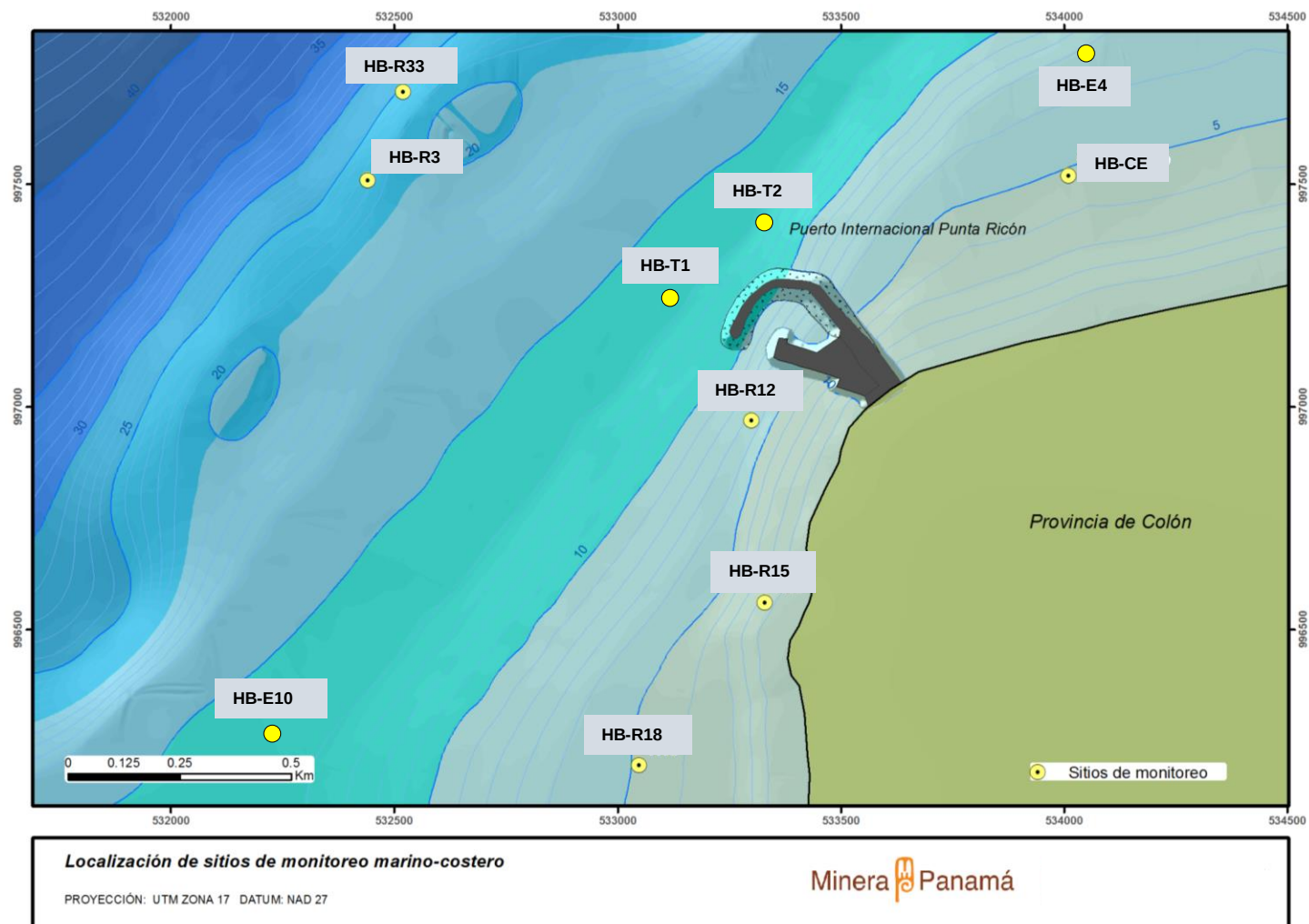
3.1. Sitios de muestreo y actividades realizadas

Durante los días 15 al 18 de septiembre de 2022 se realizaron los monitoreos en los siguientes diez (10) sitios de monitoreo (ver **Cuadro 1**).

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MONITOREO				
CÓDIGO SITIO DE MONITOREO	TIPO DE PUNTO	TIPO DE FONDO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
			ESTE	NORTE
HB-R3	PML	Fondo duro-blando profundo	532441	997509
HB-R33	PML	Fondo duro-blando profundo	532520	997707
HB-CE	PMC	Fondo blando somero en Caimito Este	534011	997519
HB-R12	PMC	Fondo duro-blando somero	533301	996970
HB-R15	REF	Fondo duro-blando somero	533331	996560
HB-R18	REF	Fondo duro-blando somero	533049	996196
HB-T1	Control para terminal	Fondo blando	533227	997336
HB-T2	Control para terminal	Fondo blando	533383	997571
HB-E4	Nuevo control	Fondo blando	534871	997981
HB-E10	Nuevo control	Fondo blando	532295	995729

PML: Punto de Monitoreo Lejano; PMC: Punto de Monitoreo Cercano; REF: Punto de Referencia. El término “Punto de Monitoreo Cercano o PMC” se refiere a las ubicaciones de muestreo que están lo más cerca posible a las operaciones, pero fuera de cualquier zona inicial mixta; la zona inicial mixta es el área donde las descargas provenientes del sitio (por ejemplo, las descargas de agua de refrigeración de la planta de energía) se mezclan por completo con el ambiente marino receptor. Los “Puntos de Monitoreo Lejano o PML” se deben ubicar en lugares que se crean que definen el espacio de cualquier efecto potencial observado en el PMC. Los “Puntos de Monitoreo de Referencia o REF”, deben estar cerca del área, pero fuera de cualquier cambio potencial debido a las operaciones del Proyecto.

En el **Plano 2** se muestran las ubicaciones de los sitios de muestreo utilizados. Para su ubicación, se ha generado un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la información cartográfica y batimétrica disponible, sobre el que se ha georeferenciado cada sitio de muestreo con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en soporte ARCGIS en su última versión.



Plano 2. Localización de los sitios de monitoreo para el estudio marino-costero.



De forma particular, en cada sitio de monitoreo las actividades desarrolladas se resumen en el **Cuadro 2**.

CUADRO 2. ACTIVIDADES REALIZADAS EN CADA SITIO DE MONITOREO				
CÓDIGO SITIO	CALIDAD DE AGUAS, SEDIMENTOS Y BIOTA	ESTUDIO COMUNIDADES FONDOS DUROS	ESTUDIO COMUNIDADES FONDOS BLANDOS	ESTUDIO DE PECES
HB-R3	SI	SI	SI	SI
HB-R33	SI	SI	SI	SI
HB-CE	SI (excepto peces)	NO	SI	NO
HB-R12	SI	SI	SI	SI
HB-R15	SI	SI	SI	SI
HB-R18	SI	SI	SI	SI
HB-T1	SI	SI	SI	SI
HB-T2	SI	SI	SI	SI
HB-E4	SI	NO	NO	NO
HB-E10	SI	NO	NO	NO

El estudio de la calidad del agua incluyó mediciones de parámetros físico-químicos en toda la columna de agua y toma de muestras de agua marina a -1 m para la realización de diferentes parámetros (físicos, nutrientes, metales pesados, etc). En las muestras de sedimentos se analizó su granulometría y diferentes parámetros químicos (COT, metales pesados) y en la biota (mediante capturas directas de pez león) el contenido de metales pesados.

Para el estudio de las comunidades de fondos duros se emplearon buceadores profesionales (equipados con cámaras fotográficas y de vídeo submarino), que en diferentes transeptos lineales establecidos en cada sitio -y sobre la base de datos tomados con cuadrantes- se determinó, entre otros, la cobertura de corales y otros organismos. Por su parte, para el estudio de los fondos blandos, se tomaron muestras de sedimento con buceadores y dragas y se completó el estudio del bentos marino. El estudio de peces se realizó con apoyo de buceadores profesionales y siguiendo el método del transecto en cada sitio de muestreo.

El conjunto de los muestreos fue llevado a cabo por un equipo de cuatro técnicos cualificados, más el patrón del bote, siguiendo los procedimientos estipulados en los TdR de la consultoría. Para optimizar el trabajo, las tareas fueron divididas entre los técnicos, realizando dos de ellos (con títulos de buceadores profesionales) el muestreo de elementos biológicos submarinos y los otros dos la caracterización de calidad de aguas y muestreos de sedimentos. Se contó con un paramédico y buceador de apoyo en todos los muestreos realizados.



3.2. Metodología para el estudio de la calidad del agua marina

Durante la realización de la campaña, se llevaron a cabo medidas con equipos y sondas multiparamétricas de los siguientes parámetros físico-químicos de calidad de agua marina:

- Temperatura del agua (°C)
- pH (en unidades pH)
- Oxígeno disuelto (mg/L y % saturación)
- Sólidos totales disueltos, STD (g/L)
- Turbidez (NTU)
- Salinidad (ppt)

Asimismo, en cada sitio de muestreo se tomaron por muestras de agua marina con una botella Van Dorn a -1 m de profundidad que fueron entregadas al personal de MINERA PANAMÁ para analizar los siguientes parámetros físico-químicos en el laboratorio acreditado en la Norma UNE-EN-ISO 17025 contratado de forma externa por MINERA PANAMÁ:

- Físicos: total de sólidos disueltos (STD) y total de sólidos en suspensión (TSS)
- Biológicos: DBO₅, COD
- Nutrientes: nitrato, nitrito, amoníaco, total de nitrógeno y fósforo
- Iones comunes: SO₄, Cl, Mg, Ca, K, Na, F
- Orgánicos: aceites y grasas
- Cianuro: total y metales totales: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn.

3.3. Metodología para el estudio de metales pesados en sedimentos y biota

Igualmente, se tomaron muestras de sedimento con buceadores en los sitios de muestreo indicados en el **Cuadro 1**, para el análisis de los siguientes parámetros: composición granulométrica, carbono orgánico total (COT), hidrocarburos, aceites y grasas y metales: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se y Zn en laboratorio externo contratado por MINERA PANAMÁ.

Las muestras de sedimentos se recogieron con una pala de teflón por los propios buceadores o con una draga tipo Eckman en el sitio HB-CE. Las muestras recogidas se conservaron en recipientes de plástico y vidrio (según analito) correctamente identificados y almacenadas en neveras refrigeradas hasta su entrega al personal de MINERA PANAMÁ al llegar a puerto.

Asimismo, con el fin de evaluar si las operaciones están desplazando metales se ha llevado a cabo el muestreo por personal de PFR ENVIRONMENTAL, SA de pez león (*Pterois antennata*)¹, a partir de las capturas de ejemplares con rifle-arpón recubierto de teflón. Las muestras de pez león se lavaron previamente con agua desionizada. En los peces, se extrajeron los tejidos musculares por encima de la línea lateral y a nivel del inicio de la aleta

¹ Se ha utilizado ejemplares de pez león, ya que se encuentra en niveles tróficos elevados con una dieta carnívora (peces, camarones y otros crustáceos, etc), presenta una amplia distribución en la zona y con su captura se ha contribuido a mermar sus poblaciones invasoras en el área, sin dañar a otras especies.

dorsal del pez completo, utilizando un cuchillo limpio de teflón. Con los tejidos extraídos se formaron un pool de 3 organismos para cada uno de los peces. Los cortes se introdujeron en bolsas de polietileno y se congelaron a -20°C hasta su entrega a personal de MINERA PANAMÁ al llegar a puerto para su envío al laboratorio externo.



Ejemplares de pez león recolectados y toma de muestras de tejidos para la realización de los análisis.

3.4. Monitoreo de hábitats rocosos (comunidades de fondos duros)

Dentro de las métricas a analizar en los hábitats de fondos rocosos-duros se incluyen:

- Porcentaje de cobertura de los organismos vivos del arrecife, incluyendo la cobertura del coral y la densidad de las colonias coralinas.
- Tipos y diversidad de los organismos del arrecife en el sustrato.
- Porcentaje de la cobertura por algas.
- Uso observado del sustrato por parte de los peces y otros organismos móviles.

En cada sitio de monitoreo somero y profundo definido anteriormente, se estableció un transecto lineal fijo paralelo a la costa, excepto en HB-R3 y HB-R33 que fueron perpendiculares a la costa. Para delimitar dicho transecto, se utilizaron en el año 2015 varillas de hierro, las cuales fueron enterradas al inicio y fin de cada transecto, como marca permanente para éste y los futuros eventos de monitoreo en estos puntos. Durante estos años, se ha tenido que ir reponiendo estas varillas, debido al efecto del desgaste y el oleaje. Asimismo, se localizaban estas varillas y una vez identificado y establecido el transecto, se ha cuantificado cada 5 m mediante una cuadrata de 1 m^2 sujeto por una base, el porcentaje de cobertura (por m^2) de algas, algas incrustantes, corales, octocorales, esponjas e invertebrados.

Igualmente, se han tomado secuencias de fotos por cada cuadrata, que servirán para la evaluación de las tendencias con el paso del tiempo en estas ubicaciones y para verificar en el laboratorio el uso del sustrato por parte de peces y otros organismos móviles. Para la movilización del personal y el equipo de trabajo, se utilizó un bote de fibra de vidrio de 25 pies de largo con motor fuera de borda de 60 hp.. Los datos fueron recolectados a través de buceos de diferente duración realizados por un equipo de dos buzos profesionales con equipo de buceo



autónomo y apoyo de un tercer buzo-paramédico desde la embarcación, con la observación de un buceador en superficie con snorkel.

Para la clasificación e identificación de los organismos se utilizaron las guías de identificación de Humann (2006) sobre corales, peces y creaturas arrecifales; en los libros de Veron (2000) para identificación y listado de especies corales pétreos; para la Identificación de corales blandos en campo, en la guía de Humann (2006), en la guía publicada por la Universidad de Warwick (2007) para la identificación visual de este grupo, otras guías STRI Bocas Data Base (2012) y Collin et al. (2005), para invertebrados.

Para el cálculo de la cobertura (en% del área ocupada por cada grupo) a partir de las imágenes de los cuadrantes tomadas por el buceador, se utilizó el programa CPCe (Coral Point Count con extensiones de Excel), que es un software basado en Windows (solo para PC). Un número especificado de puntos espacialmente aleatorios se distribuyen en cada imagen y las características subyacentes a los puntos son identificados por el usuario.

Los análisis y clasificación de las imágenes fueron llevadas a cabo por zoólogos marinos de amplia experiencia en estudios similares en el mar Caribe de Panamá, apoyados en algunos casos por especialistas en cada uno de los grupos estudiados.



Muestreo de fondos duros con cuadrante sobre soporte al que va incorporado la cámara submarina y el flash led de alta potencia. Con esta técnica se ha mejorado la calidad y precisión de las fotografías submarinas en los cuadrantes de muestreo



3.5. Monitoreo de biología marina (comunidades de fondos blandos y peces)

El monitoreo de biología marina ha constado de:

- Monitoreo de la calidad del agua (química del agua), el cual se realizará durante el monitoreo marino (ver el punto anterior).
- Monitoreo de la calidad y estructura de los sedimentos, el cual una parte (química de los sedimentos) se realizará como parte del monitoreo marino y el tamaño de las fracciones del sedimento (ver el punto anterior).
- Evaluación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (bentos marino) en fondos blandos.
- Evaluación de la estructura de los peces, al igual que la presencia y densidad estimada del pez león. Monitoreo de las concentraciones de metales en el tejido de este pez.

A) Evaluación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

En los sitios de muestreo, se ha procedido a tomar 3 muestras de fondos blandos, utilizando una draga tipo Eckman de 0,0225 m² de área de apertura o mediante la ayuda de buceadores en una superficie aproximada de 0,045 m² y 5-10 cm de profundidad de sedimento. Las muestras se rotularon y posteriormente fueron tamizadas en un tamiz de 500 micras de tamaño de malla, para eliminar el sedimento y retener los organismos bentónicos. Los organismos se almacenaron en frascos plásticos debidamente etiquetados con la información de la colecta y fijados con alcohol al 95% para su análisis en laboratorio.

Para el análisis de las muestras, se empleó un estereoscopio y se utilizaron claves de identificación para diversos grupos taxonómicos como la de Fauchald, 1977; Salazar-Vallejos, 1991 y Liñeros, 1997 para los poliquetos; Abbott, 1954; Keen, 1971 para los moluscos; Rodríguez, 1980 para los crustáceos. La identificación se realizó de manera que se pudiera determinar hasta el menor taxón posible. Los datos se estandarizaron por categorías de valores referidos a 1 m². Adicionalmente, se ha obtenido la información sobre densidad (n° individuos/m²) y el número de individuos por especie, así como de parámetros poblacionales.

B) Evaluación de la estructura de los peces, al igual que la presencia y densidad estimada del pez león

Para la estima y censo de las poblaciones de peces, se ha seguido el método de censo visual de transecto de banda, al ser uno de los protocolos más utilizados para la evaluación de la riqueza, densidad y biomasa de peces arrecifales (Brock 1982).

Con este método, el buzo nada en línea recta siguiendo la cinta métrica de 50 m de longitud situada en el fondo, con una anchura de observación variable en función de la visibilidad de cada sitio. En ese tiempo se realiza las estimaciones de riqueza de especies, mientras otro buzo nada de forma errante cerca de la zona en donde se encuentra fijado el transecto y un tercero nada en superficie (con snorkel y en sitios someros), obteniendo información adicional sobre presencia de peces de interés económico o ecológico (entre ellas, observaciones del pez león). Con la ayuda de una tablilla, los buzos anotaron sus observaciones; asimismo, se



utilizaron cámaras submarinas de fotos y video para complementar la información obtenida con los recorridos visuales. Se estimó la densidad (D) de cada especie según la siguiente expresión:

$$D=P*(n/L*W))$$

siendo n el número de peces, L la longitud del transecto (50 m), W la anchura de conteo (5 m a cada lado de la cinta, es decir 10 m) y P la probabilidad de detección (0,8), tabulando los resultados en clases y referido a ind/10³ m².

3.6. Monitoreo de rompeolas

Durante el presente estudio, se ha continuado con los muestreos en el rompeolas del puerto de Punta Rincón iniciados en el monitoreo del año 2016, como parte de un estudio específico para valorar estas nuevas áreas como hábitats artificiales.

Para ello, se seleccionaron siete (7) sitios de muestreo o transeptos de control (RO1 a RO7), situados en la parte externa e interna del rompeolas y distribuidos de forma representativa en toda su longitud.

En el **Cuadro 3** se incluyen las principales características de los sitios de monitoreo en el rompeolas y actividades realizadas y en el **Plano 3** se localizan estos sitios y transeptos en el rompeolas.

CUADRO 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MONITOREO EN EL ROMPEOLAS				
CÓDIGO SITIO DE MONITOREO	ZONA ROMPEOLAS	ACTIVIDADES REALIZADAS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
			ESTE	NORTE
RO1	Externa	Estudio fondos duros y peces	533234	997207
RO2	Externa	Estudio fondos duros y peces	533316	997312
RO3	Externa	Estudio fondos duros, peces	533476	997298
RO4	Interna	Estudio fondos duros y peces	53480	997310
RO5	Interna	Estudio fondos duros y peces	533315	997181
RO6	Interna	Estudio fondos duros y peces	533365	997232
RO7	Externa Extremo rompeolas	Estudio fondos duros y peces	533371	997244



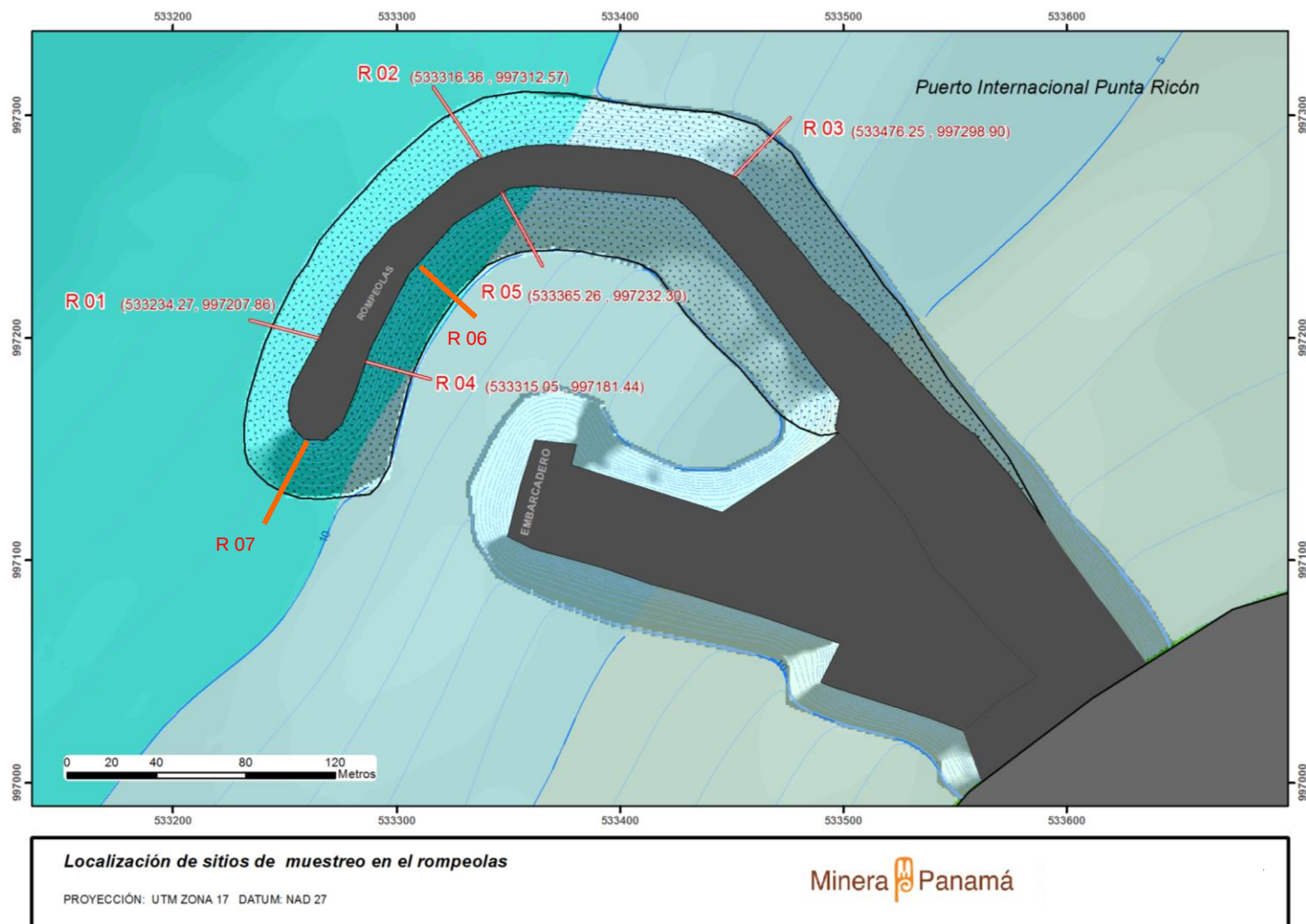
Se realizaron los mismos muestreos que en fondos duros y comunidades de peces, con la misma metodología descrita en el apartado anterior, centrando los trabajos en la determinación de las siguientes variables:

- Porcentaje de cobertura de los organismos del arrecife, incluyendo la cobertura del coral y la densidad de las colonias coralinas.
- Tipos y diversidad de los organismos del arrecife en el sustrato.
- Porcentaje de la cobertura por algas.
- Composición y abundancia de peces.

Al igual que en el muestreo biológico en fondos duros, se ha cuantificado -utilizando una cuadrata de 1 m² el porcentaje de cobertura (%) de algas, algas incrustantes, corales, octocorales, esponjas e invertebrados, así como fotografía y vídeo submarino de cada sitio de muestreo.



Muestreo de rompeolas con apoyo de cuadrata provista de cámara de fotos y video, con focos submarinos led de alta potencia.



Plano 3. Localización de los sitios de monitoreo y transeptos en el rompeolas.



4. RESULTADOS MARINO-COSTEROS

4.1. Calidad de aguas

4.1.1. Condiciones de los muestreos y medidas in situ

Los resultados de las medidas *in situ* de los parámetros físico-químicos a -1 m y las condiciones ambientales en las que se efectuaron los muestreos se incluyen en el **Cuadro 4**.

Durante la realización del monitoreo de calidad de aguas completado del 16 al 18 de septiembre de 2022, las condiciones atmosféricas fueron muy similares, presentando cielos nublados (30-60% nubes), sin lluvias y una temperatura ambiente en el rango de 28-31°C. El oleaje se mantuvo estable, con alturas inferiores a 1 m y componente mayoritario del N-NW.

Las medidas de parámetros físico-químicos del agua marina efectuadas con sonda multiparamétrica in situ, indican unas condiciones propias del mar Caribe para la época con altas concentraciones de oxígeno disuelto (sobre 6,4-6,8 mg/l y 100% de saturación), salinidades propias de agua de mar (36-37 psu) y un pH de 8,4-8,6 unidades. La turbidez del agua en esta campaña se ha mantenido baja e inferior a 1,5 NTU en todos los sitios de monitoreo, con excepción del valor de 2,8 NTU en la estación HB-CE próxima a la desembocadura del río Caimito e influenciado por los arrastres y sólidos en suspensión que, de forma natural, son propios de este río.

Se destaca que en ningún sitio se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3°C de las condiciones naturales que indica el Decreto Ejecutivo N° 75), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) de los límites del Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.

Por su parte, en las gráficas 3D se incluyen los perfiles de temperatura, oxígeno disuelto y turbidez en toda la columna de agua de cada sitio de muestreo.



CUADRO 4. MEDIDAS IN SITU DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EN AGUA DE MAR (-1 m)

SITIO	FECHA DE MUESTREO	pH (unidades pH)	TURBIDEZ (NTU)	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (psu)	OD mg/L	OD %Sat.
HB-R3	16-09-2022	8,5	0,8	29,1	36,4	6,6	>100
HB-R33	17-09-2022	8,4	0,7	29,1	36,5	6,7	>100
HB-CE	17-09-2022	8,5	2,8	29,1	35,4	6,5	>100
HB-R12	17-09-2022	8,4	0,7	29,3	36,2	6,4	>100
HB-R15	16-09-2022	8,3	0,8	29,1	36,3	6,5	>100
HB-R18	16-09-2022	8,5	1,1	29,2	36,5	6,6	>100
HB-T1	18-09-2022	8,3	0,9	29,1	36,4	6,7	>100
HB-T2	18-09-2022	8,3	0,8	29,1	36,5	6,6	>100
HB-E4	17-09-2022	8,3	0,8	29,2	36,3	6,8	>100
HB-E10	17-09-2022	8,4	0,8	29,2	36,1	6,6	>100

NOTA. Se indica con un sombreado en verde que se cumple con el nivel de calidad establecido para el parámetro en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008. OD: oxígeno disuelto.

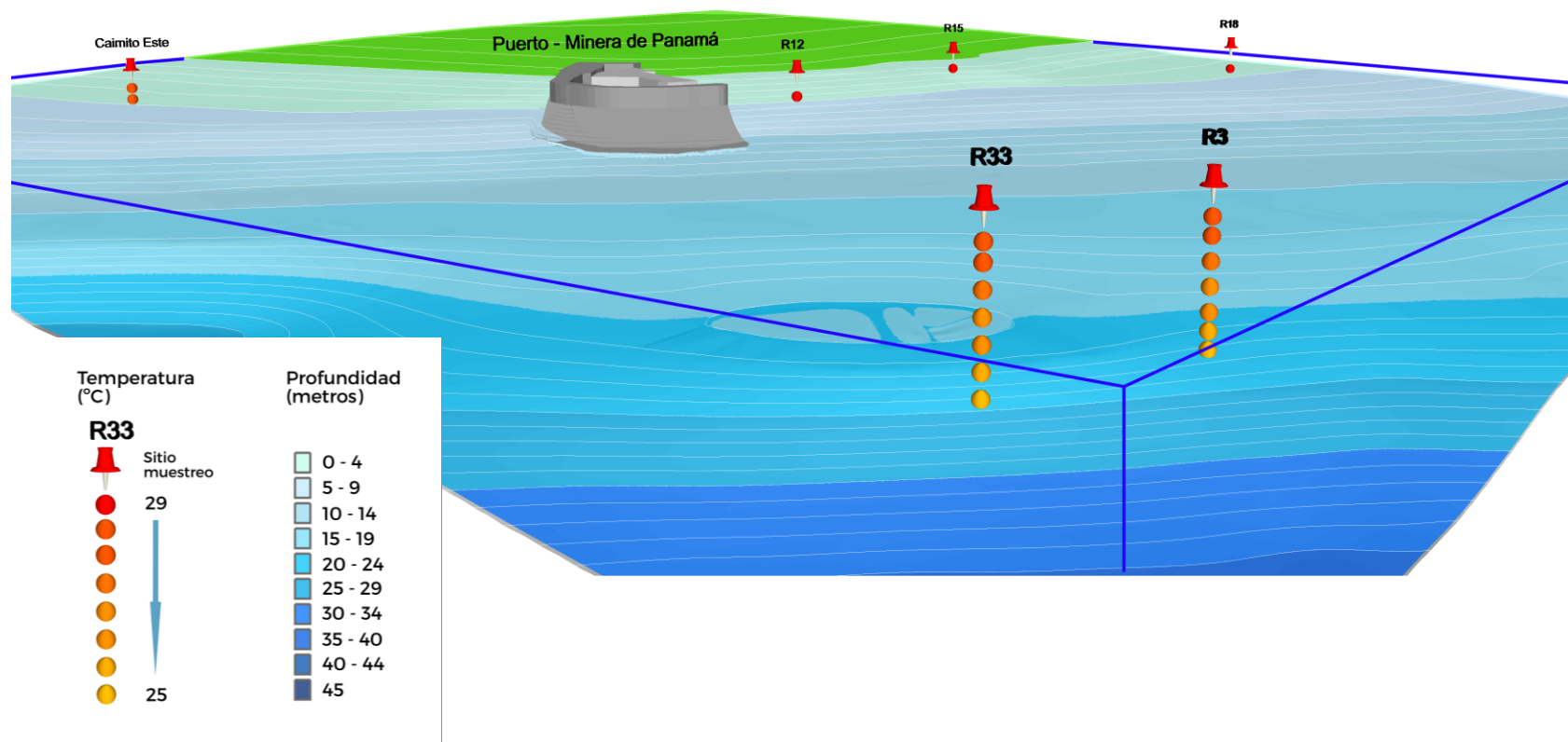


Figura 1. Perfiles de temperatura (°C) en la columna de agua en cada sitio de monitoreo.

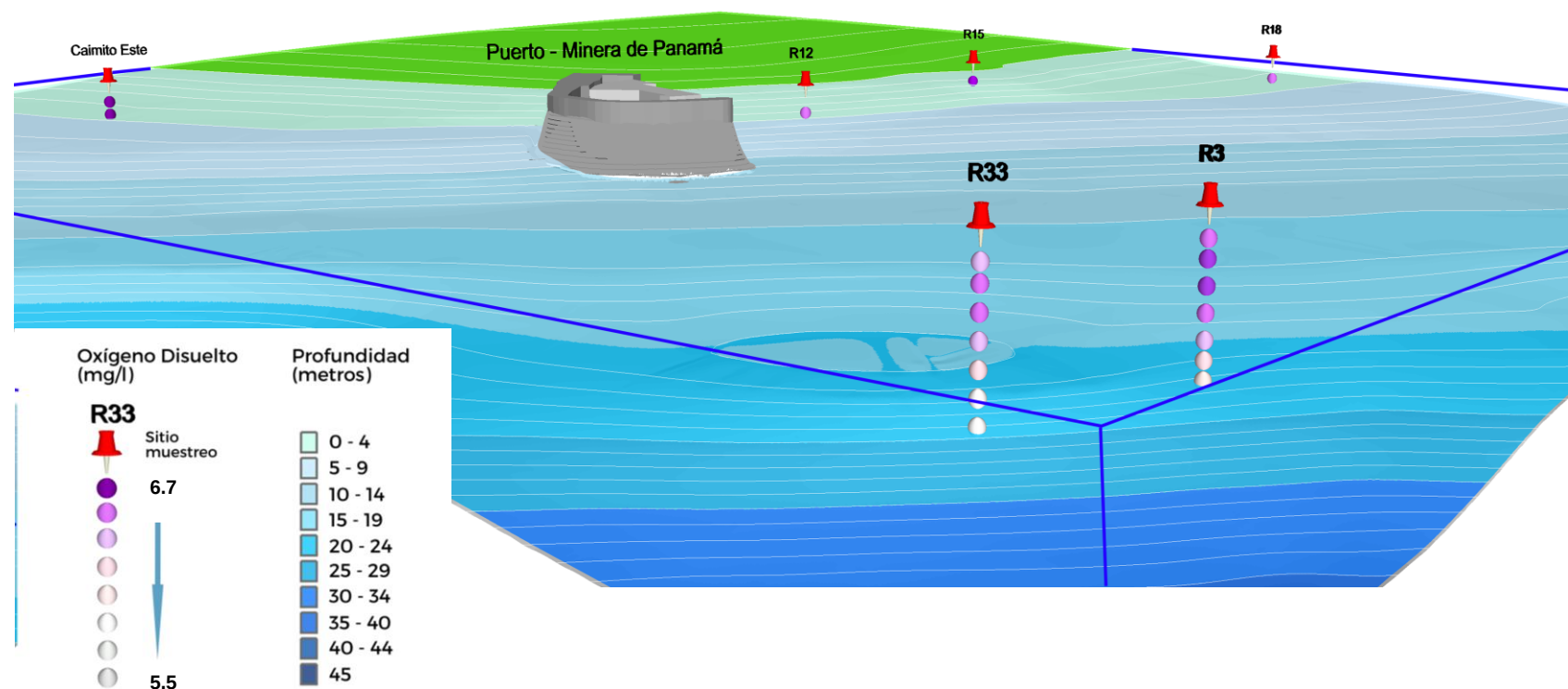


Figura 2. Perfiles de oxígeno disuelto (mg/L) en la columna de agua en cada sitio de monitoreo.

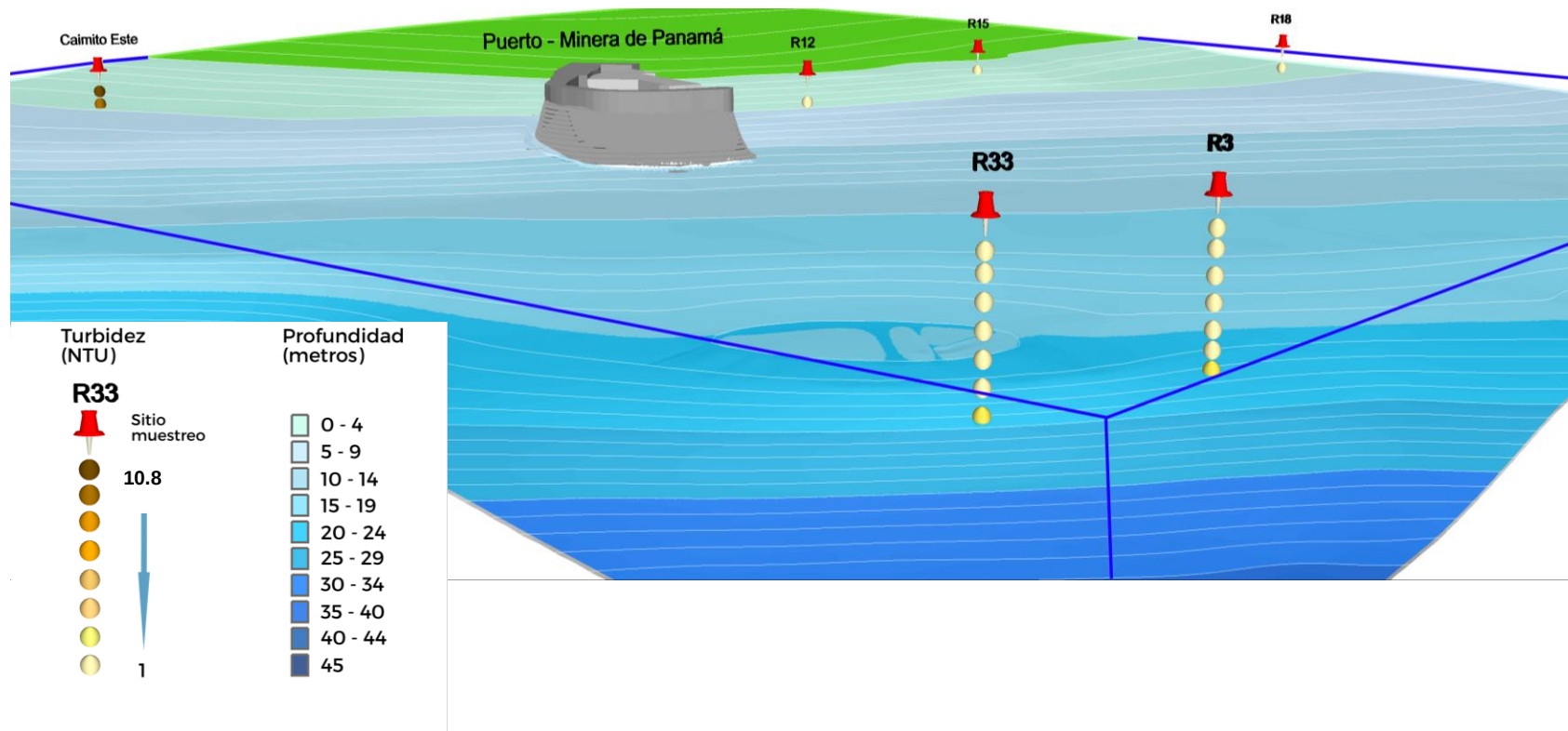


Figura 3. Perfiles de turbidez (NTU) en la columna de agua en cada sitio de monitoreo.

4.1.2. Química del agua marina

En el **Anexo 1** se incluyen los Informes de Ensayo de los análisis del laboratorio externo contratado por MINERA PANAMÁ de todos los análisis realizados en agua marina.

En relación a los resultados de calidad de aguas obtenidos, se destacan los siguientes puntos:

- Todos los sitios de muestreo presentan concentraciones en los parámetros analizados muy similares, sin diferencias significativas entre ellos. Son propios de aguas marinas del litoral del Caribe panameño, en donde no se aprecian efectos de la posible contaminación asociado con las obras de construcción del puerto o de la propia mina.
- Por su parte, el sitio de muestreo HB-CE presenta, para algunos parámetros (TSD y nutrientes), concentraciones ligeramente más altas que el resto de sitios de muestreo, debido a que este punto se encuentra muy próximo a la desembocadura del río Caimito, que aporta este tipo de sustancias al agua procedente de la escorrentía de su cuenca.
- En ningún caso, las concentraciones de los parámetros analizados indican contaminación de origen antrópico, correspondiendo los valores más altos en el punto próximo a la desembocadura del río Caimito a un origen telúrico y natural.



Preparación de los equipos para el monitoreo submarino.



4.2. Calidad de sedimentos

4.2.1. Análisis granulométrico de sedimentos

Para el análisis granulométrico del sedimento, se utilizó el método de tamizado mecánicos de Folk (1957), siguiendo los procedimientos de la norma UNE-EN-ISO ISO 3310/1. Las muestras de sedimento marino se secaron en un horno Selecta a 110 ° C, por un período de 24 horas.

A continuación, se retiró 100 gramos de cada muestra seca, que se tamizaron sobre una batería completa de tamices (1 mm, 0.5 mm, 0.250 mm, 0.125 mm, 0.063 mm y <0.063 mm), a fin de separar las fracciones gruesas (grava-arena-limos gruesos) y las fracciones finas (limos medios-arcillas) de cada muestra. Las fracciones retenidas en cada tamiz, se pesaron para determinar los porcentajes correspondientes a cada fracción.

Los resultados obtenidos indican que los fondos blandos que componen los diferentes sitios de muestreo son relativamente homogéneos en su composición granulométrica. Predominan las arenas medias a gruesas, sin diferencias significativas entre las muestras, y características del litoral caribeño. HB-CE se comporta ligeramente diferente al resto de sitios, con mayor predominio de la componente de 0.125 mm.

Por consiguiente, no se aprecian efectos asociados con la operación del puerto o de la Mina, debido al escaso porcentaje de arenas finas y limos presentes en los sedimentos de los sitios someros de HB-R12, HB-R15 y HB-R18 (más próximos a la costa y potencialmente influenciados) y los situados en áreas más profundas (HB-R3 y HB-R33). Los sitios HB-T1 y HB-T2 presentan una composición mayoritaria de arenas, al igual que HB-E4 y HB-E10, aunque con presencia de restos de hojas, pero en menor medida que en mayo 2022.

En el **Gráfico 1** se representan de forma porcentual (%) la distribución granulométrica en cada sitio muestreado. Por su parte, en los **Gráficos 2 al 11** adjuntos se incluyen las curvas granulométricas de cada sitio de muestreo correspondientes al presente monitoreo.



Fotografía submarina de los fondos arenosos del sitio HB-T1.

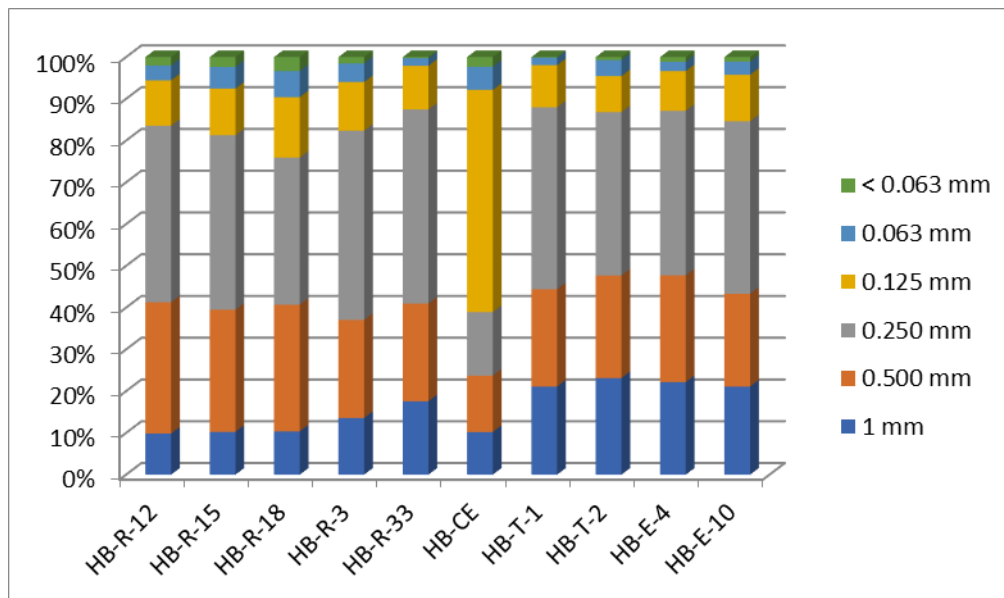
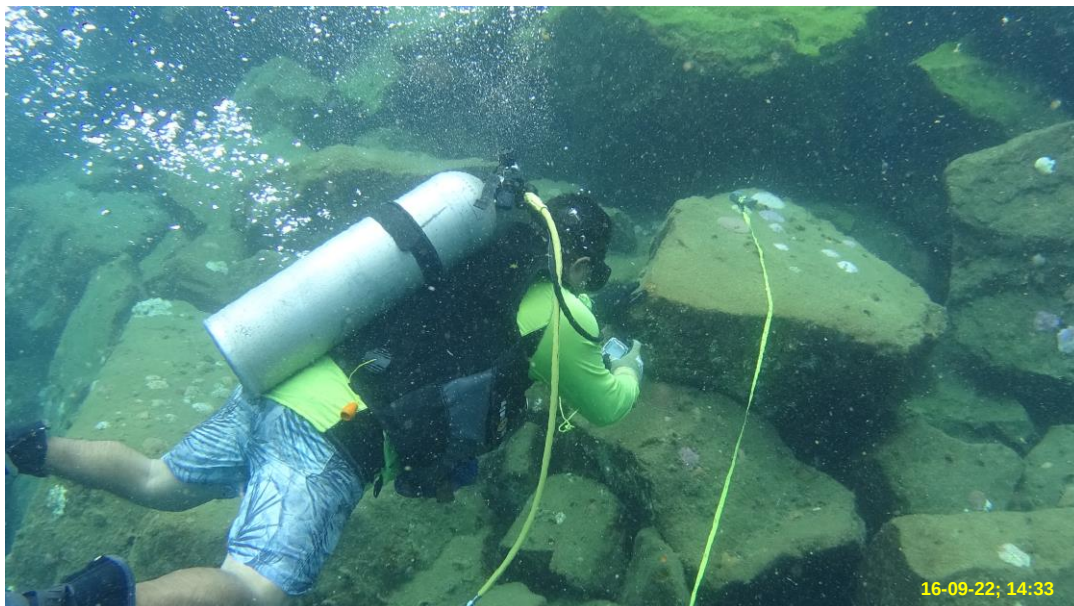


Gráfico 1. Distribución porcentual (%) de la composición granulométrica en los diferentes sitios de muestreo (gravas y arenas muy gruesas >2mm; arenas 0.06-2 mm; <0.06 mm arcillas y limos).



Toma de muestras de sedimentos del fondo marino con buceador de PFR ENVIRONMENTAL, SA para análisis granulométrico y metales pesados.

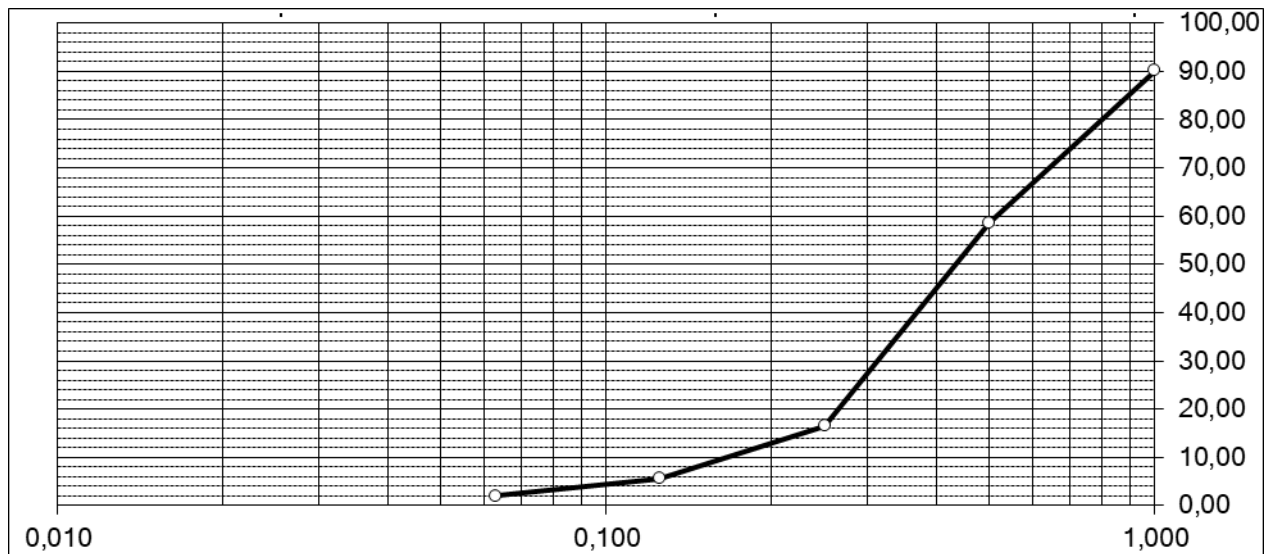


Gráfico 2. Curva granulométrica característica HB-R12.

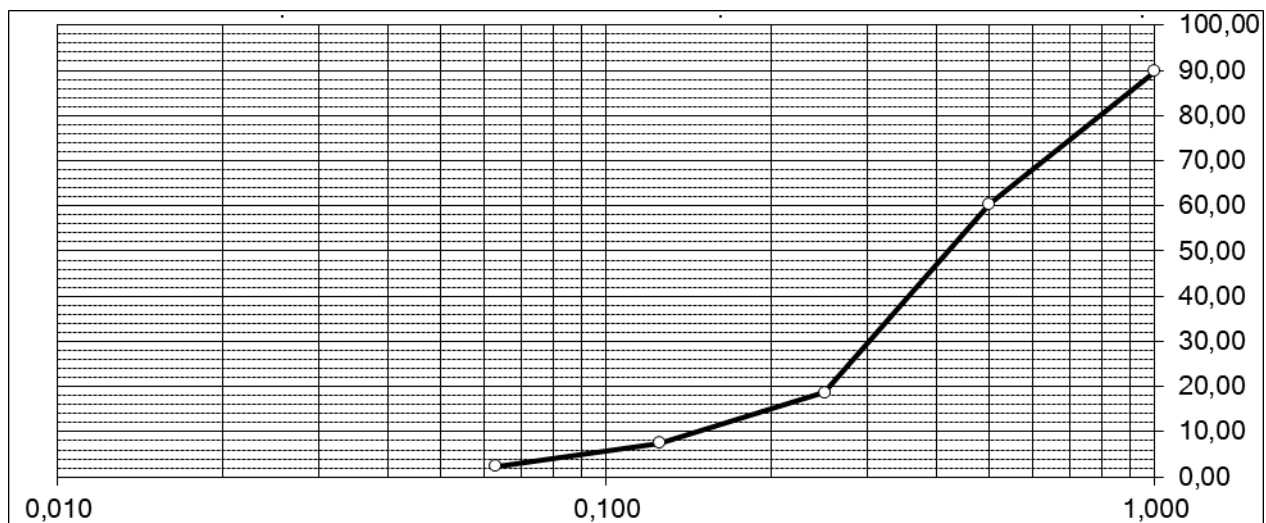


Gráfico 3. Curva granulométrica característica HB-R15.

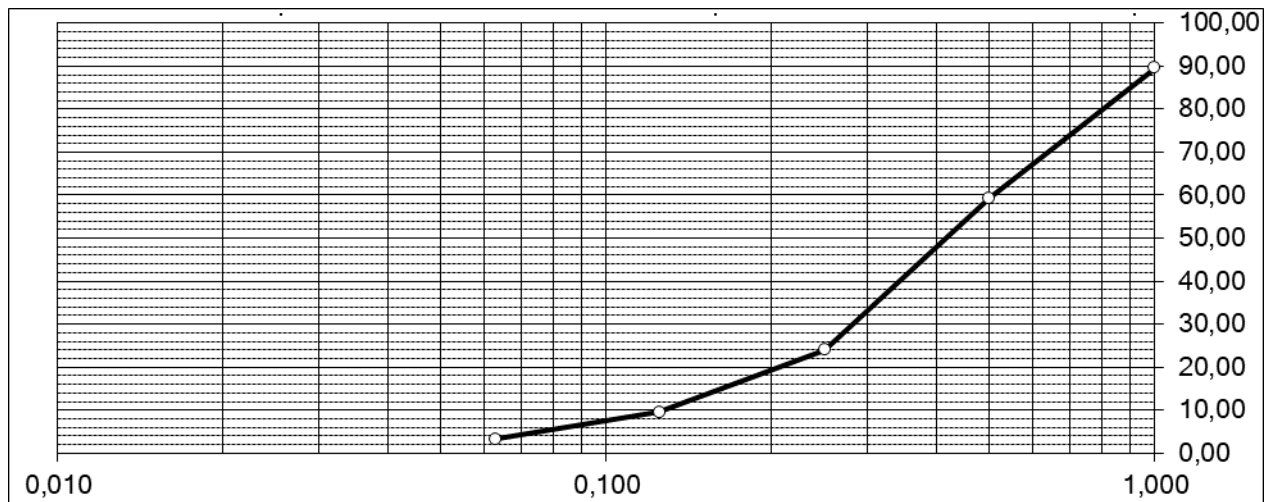


Gráfico 4. Curva granulométrica característica HB-R18.

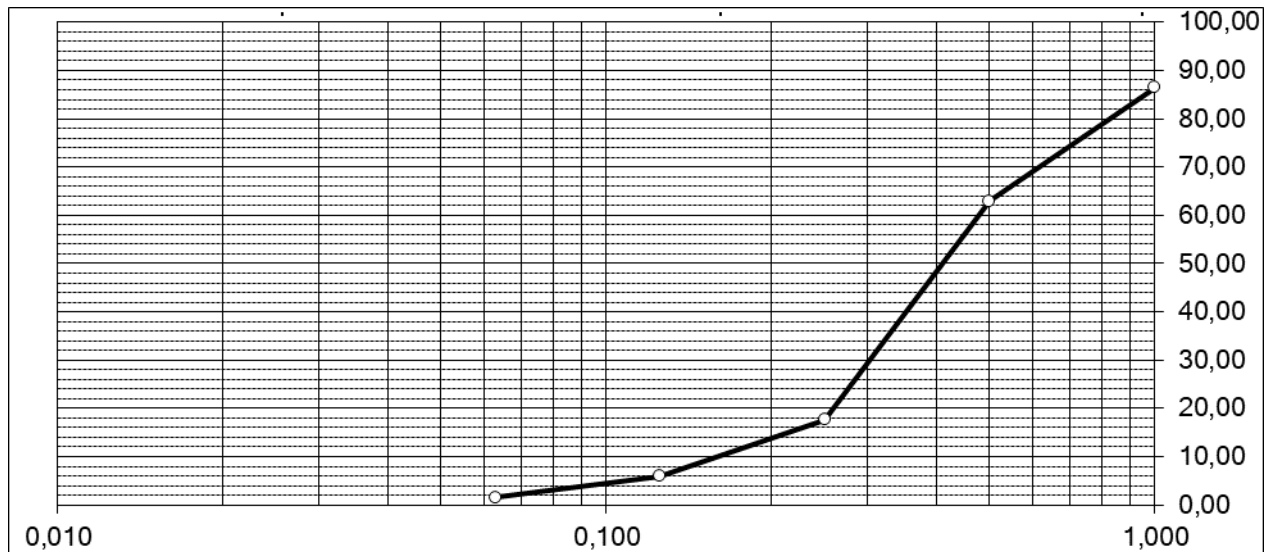


Gráfico 5. Curva granulométrica característica HB-R3.

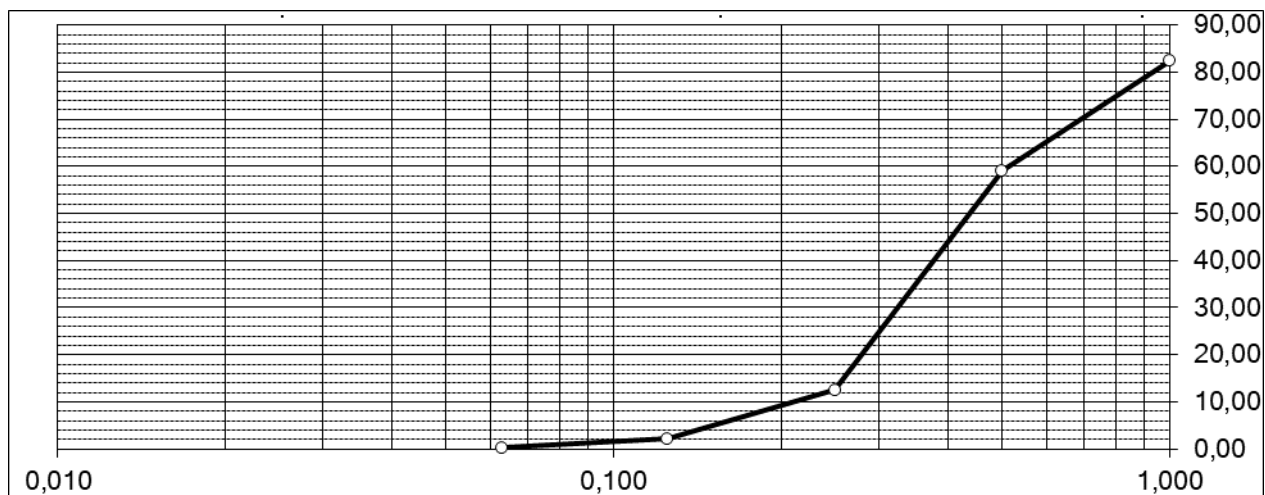


Gráfico 6. Curva granulométrica característica HB-R33.

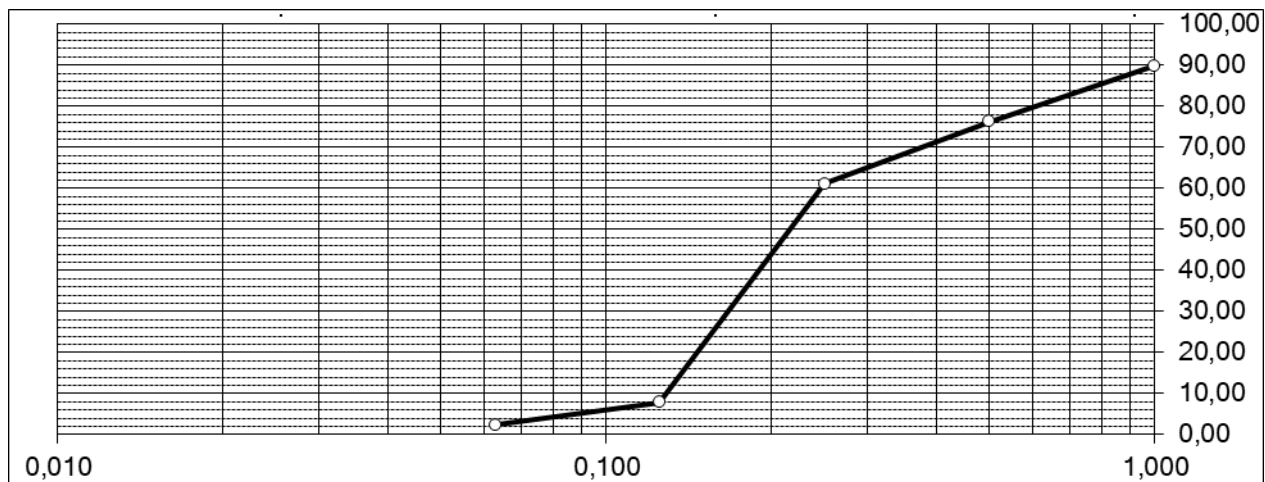


Gráfico 7. Curva granulométrica característica HB-CE.

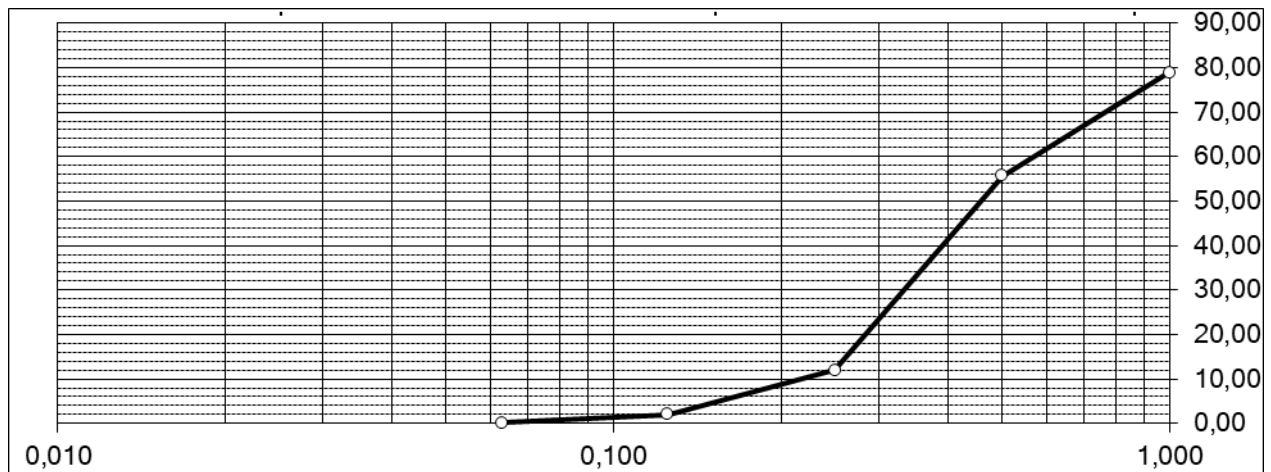


Gráfico 8. Curva granulométrica característica HB-T1.

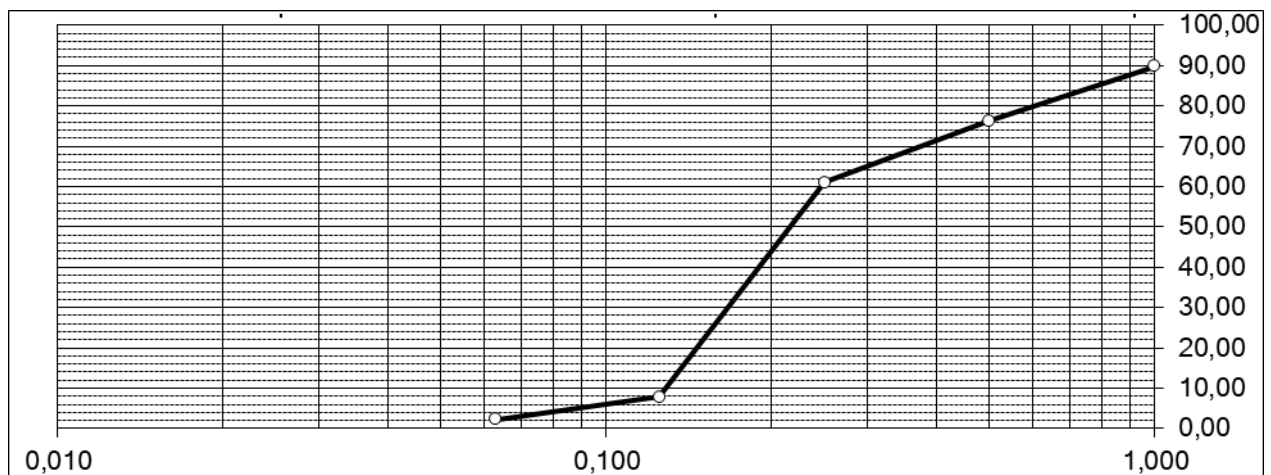


Gráfico 9. Curva granulométrica característica HB-T2.

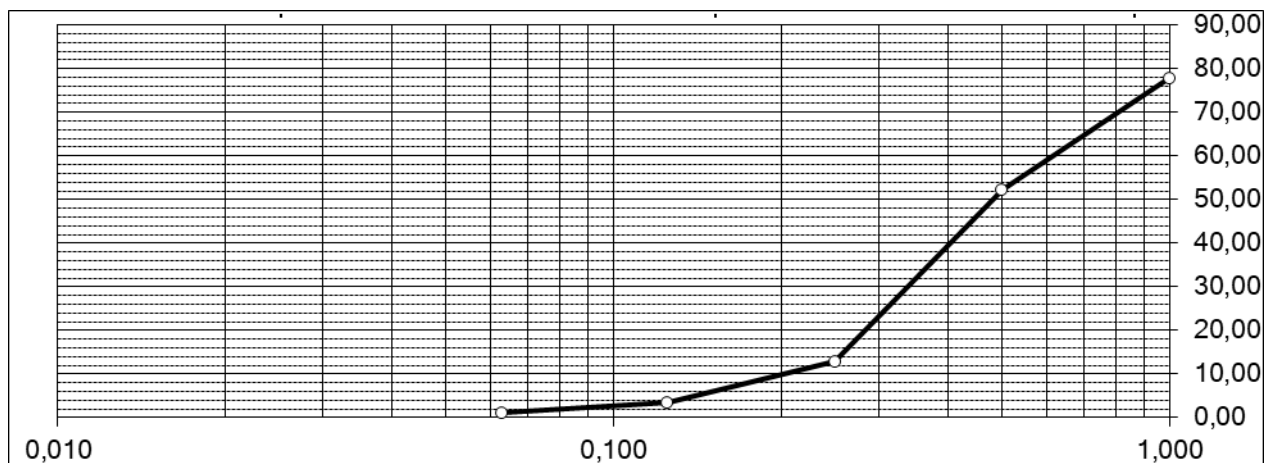


Gráfico 10. Curva granulométrica característica HB-E4.

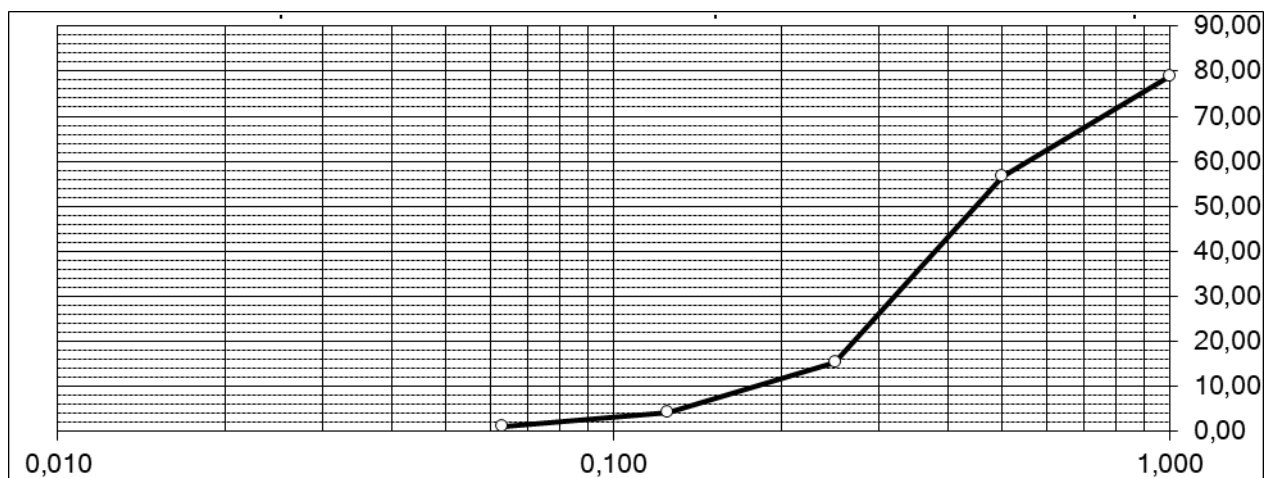


Gráfico 11. Curva granulométrica característica HB-E10.



4.2.2. Análisis de metales en sedimentos

En el **Anexo 1** se recogen los resultados de los análisis de metales pesados totales en sedimentos referido a mg/kg de materia seca (s.m.s.). Asimismo, durante este monitoreo se han realizado cianuro total, hidrocarburos totales de petróleo (C10-C40) y aceites y grasas.

El cianuro total se mantiene siempre por debajo del límite de detección (LD) de 0,25 mg/kg. Los Hidrocarburos Totales de Petróleo también aparecen con concentración en sedimentos por debajo de los LD de 1,9 mg/kg del método analítico o en bajas concentraciones (<25 mg/kg), lo que indica una concentración muy baja o no detectable. Las concentraciones de aceites y grasas son variables y se encuentran dentro de rangos comparables (50-200 mg/kg).

Para valorar el grado de contaminación por algunos metales pesados de los sedimentos y sus efectos probables en la biota marina, se ha empleado los valores de referencia del Consejo Canadiense de los Ministerios del Ambiente (CCME, 2001)². Los valores incluyen los niveles guía de calidad (ISQG, como mg/kg de materia como peso seco), el valor de efectos probables (PEL, como mg/kg de materia como peso seco) y la incidencia (en %) de los efectos biológicos adversos en tres rangos de concentración para los valores guía. (ver **Cuadro 5**).

CUADRO 5. VALORES GUÍA DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS MARINOS (mg/kg ps) Y LA INCIDENCIA (%) DE EFECTOS ADVERSOS EN LA BIOTA MARINA					
METAL	ISQG	PEL	%≤ISQG	ISQG<%<PEL	%≥PEL
Arsénico	7,24	41,6	3	13	47
Cadmio	0,7	4,2	6	20	71
Cromo	52,3	160	4	15	53
Cobre	18,7	108	9	22	56
Plomo	30,2	112	6	26	58
Mercurio	0,13	0,70	8	24	37
Zinc	124	271	4	27	65

Las concentraciones de arsénico, cadmio y cobre se mantienen en todos los sitios por debajo del valor guía PEL y superiores al valor ISQG, con excepción del punto HB-R3 que tiene un valor inferior a 3,6 mg/kg. El cobre se mantiene por debajo del valor ISQG en los sitios HB-R33, HB-R15, HB-r18 y HB-R3, presentando el resto de sitios valores inferiores al valor guía PEL. Los metales plomo, mercurio y zinc se mantienen en todos los sitios por debajo de los límites ISQG.

Cabe destacar, que estos límites se han tomado como valores de referencia, al no disponer Panamá de legislación al respecto. Estos valores están asociados con unos efectos probables en la biota propia de las aguas frías de Canadá, sin relación probada con los efectos en la biota de las aguas subtropicales de la costa del Caribe en Panamá.

² Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Summary Tables. Updates. In: Canadian environmental quality guidelines.

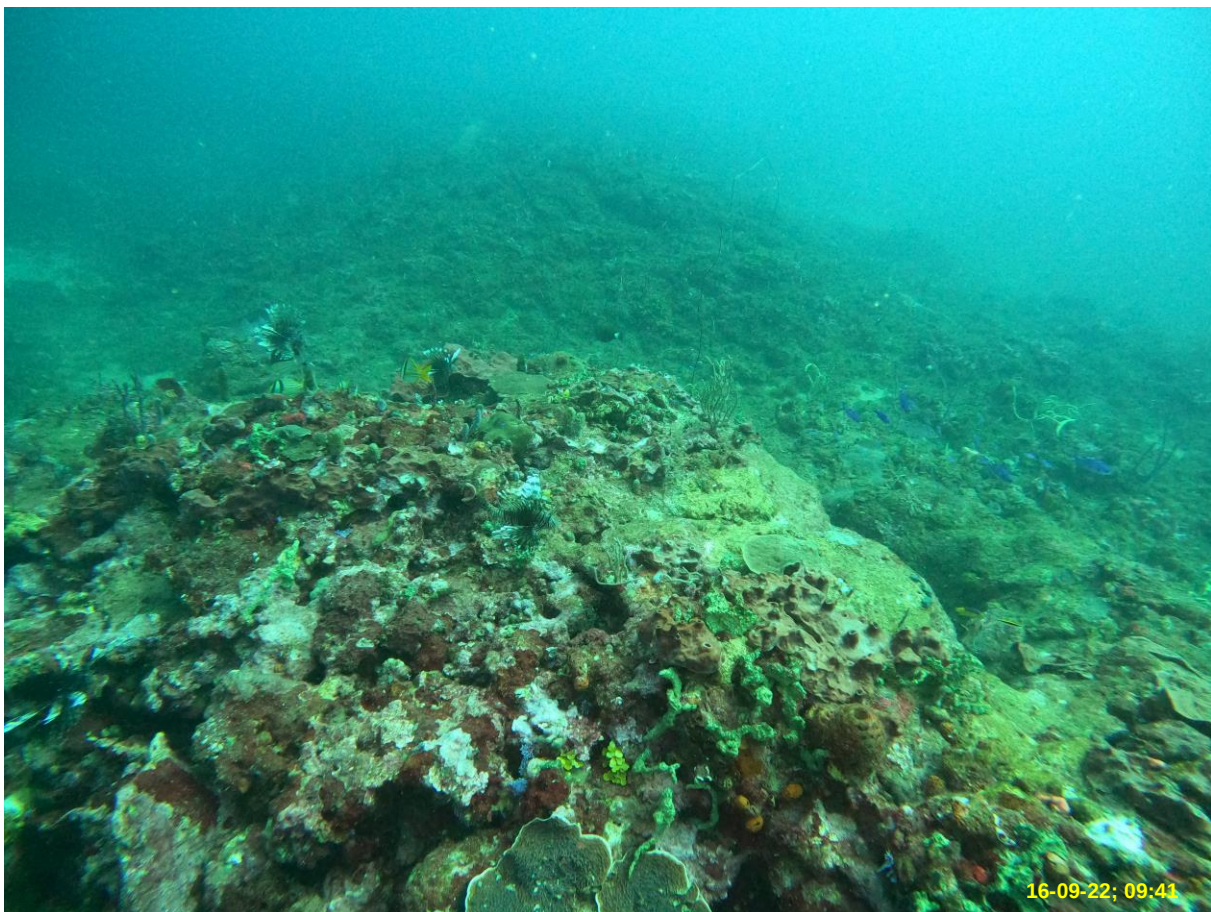


4.3. Análisis de metales pesados en pez león

Por su parte, en el **Anexo 1** se recogen los análisis de metales pesados totales en tejidos de pez león, seleccionado como especie objetivo, referidos a materia seca (s.m.s.).

Las concentraciones de metales pesados en tejidos del pez león han sido relativamente bajas en todos los sitios de muestreo y por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos empleados.

Teniendo en cuenta la norma de referencia europea (Reglamento CE 104/2000 y Reglamento CE 466/2001 de 8 de Marzo de 2001) para contenido de metales pesados en productos alimentarios de carne de pescado, se cumple con el límite para plomo (0,2-0,4 mg/kg), cadmio (0,05-0,1 mg/kg) y mercurio (0,5-1,0 mg/kg). Para el resto de metales pesados no se cuenta con valores legales de referencia.



Presencia de pez león en los fondos duros profundos de HB-R3.



4.4. Hábitats de fondos duros

4.4.1. Introducción

En la costa del Caribe, en la parte central de Panamá, predominan las playas arenosas de poca pendiente y con fuerte oleaje, caracterizadas por poseer ecosistemas marinos sublitorales (arrecifes de corales) agrupados en pequeñas colonias asociados a rocas de origen basáltico.

Las formaciones coralinas asociadas a estos tipos de fondos se consideran arrecifes de tipo costeros, bordeante o someros, por encontrarse entre 1 o 5 metros. Sin embargo, también en algunas ocasiones estas formaciones se pueden encontrar entre los 25 y 35 m de profundidad, y están recubiertos por una capa delgada de organismos como plantas, esponjas y colonias aisladas de corales. Estos organismos, además de ser raros, son poco conocidos, y guardan una estrecha relación con otras especies que allí habitan, ya que son utilizados como recursos tróficos o refugio.

Los fondos duros rocosos juegan un rol importante en la ecología y la fauna típica asociada. La complejidad del sustrato que posean estos fondos, arenoso o rocoso, determinará el éxito de las especies que colonizan esta zona.

Los fondos duros profundos ubicados frente a Punta Rincón, poseen un sustrato rocoso variable entremezclado con arena. Las zonas profundas se caracterizan por poseer menor penetración de la luz y moderada a baja turbidez, lo que limita el crecimiento de ciertas especies y contribuye al desarrollo de otras como esponjas y colonias de corales. Por su parte, los fondos duros someros se caracterizan por presentar una alternancia de sustratos duros y parches de arena y una mayor penetración de la luz, aunque están expuestos de forma más intensa a la acción del oleaje y los aportes de agua dulce del continente.

Se presentan los resultados obtenidos en los muestreos de fondos duros, divididos en fondos profundos –que se corresponden con los sitios de muestreo HB-R3 y HB-R33- y los fondos someros –HB-R12, HB-R15 y HB-R18-. Cabe indicar que, además de los reconocimientos visuales de los buceadores y su anotación en libretas, se ha empleado en este trabajo de forma novedosa la identificación automática de imágenes de cada cuadrante mediante la técnica CPCe (Coral Point Count con extensiones de Excel). Igualmente, se contó con el asesoramiento de especialistas en la identificación complementaria de los diferentes grupos biológicos.

4.4.2. Fondos duros profundos

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios HB-R3 y HB-R33 de fondos duros profundos, se resumen en el **Cuadro 6**.

En el **Cuadro 7** se incluyen los porcentajes de cobertura (%) para el área muestreada de las principales especies –por grupos biológicos- reconocidas en los trabajos en HB-R3 y HB-R33.



CUADRO 6. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN FONDOS DUROS PROFUNDOS		
GRUPO BIOLÓGICO	HB-R3	HB-R33
Corales	12,4	11,3
Gorgóneas	2,5	2,8
Esponjas	13,2	12,1
Zoántidos	1,5	1,5
Macroalgas	0	0
Otras formas de vida	0,1	0,1
Coral con algas muertas	0	0
Algas coralinas	13,6	13,2
Corales enfermos	0	0
Fondo de arena y piedras	55	56
Desconocidos	1,7	3

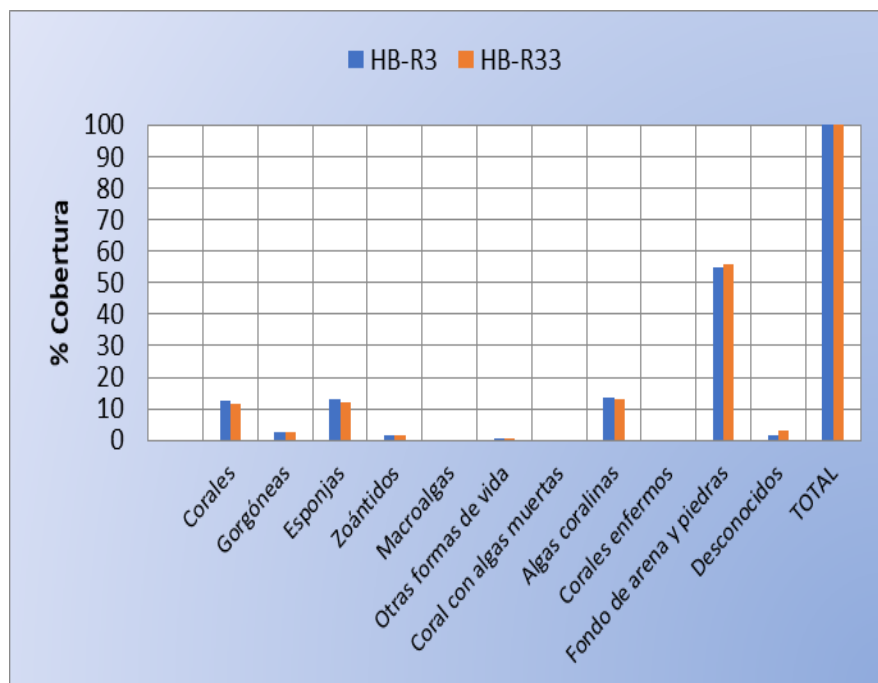


Gráfico 13. Comparativo entre los grupos biológicos de los sitios de muestreo de fondos duros profundos.



CUADRO 7. COBERTURA (%) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES EN FONDOS DUROS PROFUNDOS

GRUPOS BIOLÓGICOS	NOMBRE DE LA ESPECIE	HB-R3	HB-R33
Corales	<i>Agaricia agaricites</i>	3,5	3,8
	<i>Agaricia lamarcki</i>	1,0	1,5
	<i>Agaricia undata</i>	2,0	2,5
	<i>Agaricia fragilis</i>	1,0	0,5
	<i>Agaricia grahamae</i>	1,0	0,5
	<i>Diploria clivosa</i>	0,5	1,5
	<i>Isophyllia sinuosa</i>	1,5	1,5
	<i>Favia fragum</i>	1,0	0,5
	<i>Mycetophyllia ferox</i>	1,0	0,5
	<i>Siderastrea siderea</i>	2,0	0,5
	<i>Muriceopsis flavida</i>	0,5	0,5
	<i>Meandrina sp</i>	0,5	0
Algas	<i>Halimeda tuna</i>	2,5	3,5
	<i>Lobophora variegata</i>	3,0	0,5
	<i>Penicillus pyriformis</i>	0,5	1,0
	<i>Ventricaria ventricosa</i>	0,5	1,5
	<i>Galaxaura sp</i>	0,5	0,5
	<i>Dictyota menstrualis</i>	0,5	0,5
	<i>Amphiroa fragilissima</i>	1,0	0,5
	<i>Amphiroa rigida</i>	0,5	0,5
Esponjas	<i>Amphimedon compressa</i>	0,5	0,5
	<i>Aplysina cauliformis</i>	1,0	0,5
	<i>Aplysina fulva</i>	1,0	0,5
	<i>Callyspongia vaginalis</i>	0,5	1,0
	<i>Verungula rígida</i>	1,0	1,5
	<i>Ircinia campana</i>	0,5	0,5
	<i>Ircinia strobilina</i>	0,5	0,5
	<i>Spirastrella coccinea</i>	0,5	0,5
	<i>Verongula gigantea</i>	0,5	0,5
	<i>Xestospongia muta</i>	1,5	1,0
	<i>Xestospongia subtriangularis</i>	1,5	1,5
Gorgóneas	<i>Pseudopterogorgia acerosa</i>	1,5	1,5
	<i>Pseudopterogorgia americana</i>	0,5	0,5
Ascidiea	<i>Ascideas sp</i>	1	1,0
Zooantidos	<i>Palytoa caribeorum</i>	0,5	0,5
Poliquetos	<i>Spirobranchus giganteus</i>	0,5	0,5
Crustaceos	<i>Panulirus argus</i>	0,5	0,5



Sitio de muestreo HB-R3

Corales

En el transecto HB-R3 se registraron colonias de corales formadoras de arrecifes de profundidad con un 12,4% de cobertura; entre las doce especies registradas se puede mencionar como dominantes a las especies *Agaricia agaricites* (mayoritaria en cobertura con un 3,5%), *Isophyllia sinuosa*, *Diploria clivosa* y *Isophyllia sinuosa*, y en menor medida *Agaricia undata*, *Sidastrea siderea* y, en este monitoreo, *Meandrina* sp. en fase inicial. Se trata de especies señaladas como pioneras en cuanto a la colonización de arrecifes de corales.

Algas o Algas Coralinas

En este punto por ser sitio profundo, predominaron las algas coralinas con un 13,6% de cobertura. El grupo de algas dominantes, en cuanto a diversidad, son las algas verdes (Clorofitas). Las algas rojas (Rodofitas) *Amphiroa fragilissima* y *A. rigida*, entre mezcladas junto a estas se encuentran *Labbiophora variegata* y *Penicillium pyriformis* especies con alto contenido de carbonato de calcio (algas coralinas incrustantes) y que juegan un papel fundamental en la consolidación y estabilización de los arrecifes de corales.

Esponjas

El grupo de las esponjas resultó ser el segundo más abundante y un 13,2% de cobertura; entre las principales especies se encuentran: *Verongula rigida*, *Clathrina primordialis*, *Ircinia campana*, *Ircinia strobilina*, *Spirastrella coccinea* y *Verongula gigantea*. La mayoría de estas especies aparecen formando colonias dispersas y de crecimiento moderado, lo que indica que la poca luz y la profundidad son los factores más limitantes para el crecimiento de este grupo.

Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron un 2,5% de la cobertura en el sitio HB-R3. En los dos transectos se registraron las especies *Pseudopterogorgia acerosa* y *Pseudopterogorgia americana*.

Desconocidos y otras formas de vida

Los grupos denominados como “desconocidos³ y otras formas de vida” representan el 1,7% de cobertura registrada, en las que se registran las Ascidias y los invertebrados marinos.

Zooantidos

Otro grupo importante son los zooantidos, enmarcados en los corales blandos, representados por *Palytoa caribeorum* con 1,7% de cobertura en este transecto.

³ Se incluyen dentro del grupo “desconocidos” a aquellos taxones que no han podido ser indentificados con la metodología de uso de imagen utilizada.



Sitio de muestreo HB-R33

Corales

Los resultados del análisis de imágenes en este sitio profundo HB-R33 señala que el 11,3% está constituido por once especies de corales; entre las especies más abundantes se puede mencionar *Agaricia agaricites*, *Agaricia undata*, *Diploria clivosa* y *Isophyllia sinuosa*.

Algas o Algas Coralinas

Al igual que en HB-R3, en este sitio predominaron las algas coralinas con un 13,2% de cobertura, También en este sitio, el grupo de algas dominantes, en cuanto a diversidad, son las algas verdes como *Halimeda tuna*, *Lobbophora variegata* y *Galaxaura sp*; y rojas (Rodofitas), dentro del cual se reportaron especies como *Amphiroa fragilissima* y *A. rigida*, juntas contribuyen a la formación calcárea del fondo rocoso de esta zona, Entremezclado con la roca, se encuentran áreas de arena, típica de las formaciones coralinas de algas de algunos fondos del Caribe.

Esponjas

El grupo de las esponjas resultó con un 12,1% de cobertura, Entre las especies más significativas se encuentran: *Aplysina cauliformis*, *Aplysina fulva*, *Aplysina lacumosa*, *Ircina campana*, *Ircina strobilina*, *Spirastrella coccinea*, *Verongula gigantea* y *Xestospongia muta*, Las condiciones son muy similares al sitio HB-R3, ya que la mayoría de estas especies se reportan formando colonias dispersas y de crecimiento moderado, lo que indica que la poca luz y la profundidad son los factores más limitantes para el crecimiento de este grupo de organismos.

Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron un 3,4% de la cobertura, Las especies *Pseudopterogorgia amaericana* y *Pseudopterogorgia acerosa* fueron las más representativas.

Desconocidos y otras formas de vida

Los “desconocidos y otras formas de vida” representan el 2,8% de cobertura registrada, es decir en los que se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos como *Spirobranchus giganteus*, *Panilius argus*, *Echinometra lucunter* y *Nemaster grandis*.

Zooantidos

Los zooantidos, al igual que en HB-R3, están representados por *Palytoa caribaeorum* con 1,5% de cobertura.



Callyspongia vaginalis.



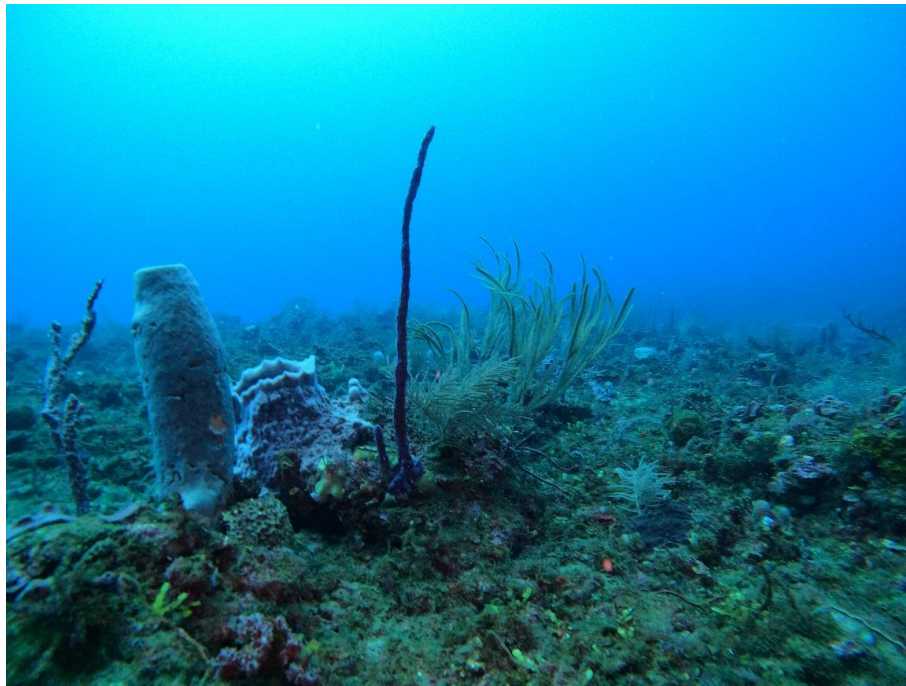
Ircinia campana.



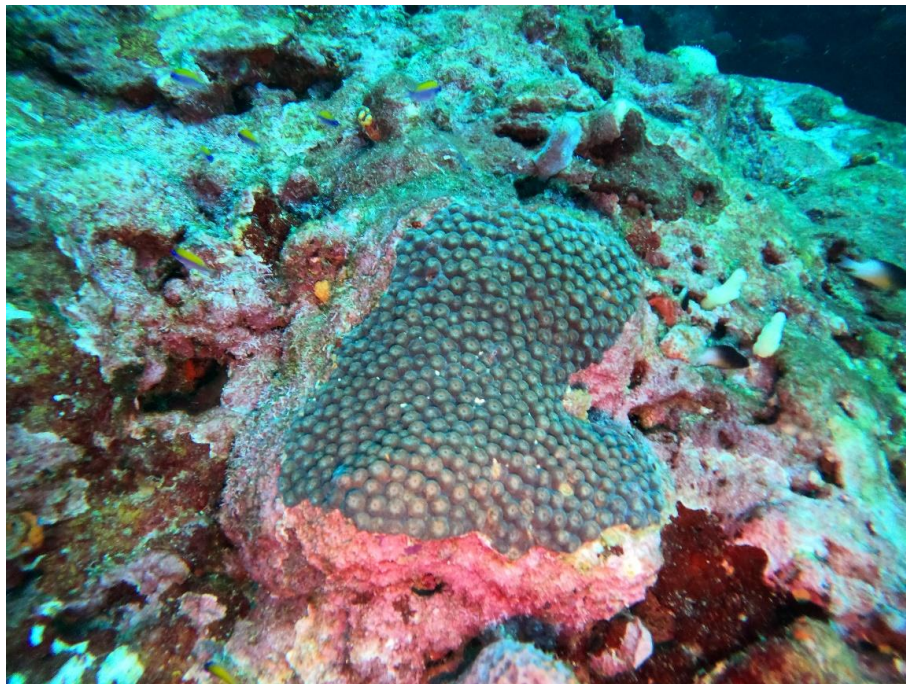
Muricea sp.



Muriceopsis flava.



Asociación de diversos taxones de corales y esponjas en fondos duros profundos.



Palythoa caribaeorum.



Callystonpongia vaginalis con Pez león.



Meandrina sp.



4.4.3. Fondos duros someros

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios HB-R12, HB-R15 y HB-R18 de fondos duros someros se resumen en el **Cuadro 8**.

Por su parte, en el **Cuadro 9** se incluyen los porcentajes de cobertura (%) para el área muestreada de las principales especies –por grupos biológicos- reconocidas en los trabajos.

GRUPO BIOLÓGICO	HB-R12	HB-R15	HB-R18
Corales	4,5	5,5	5,0
Gorgóneas	1,0	1,5	1,0
Eponjas	6,5	5,5	4,5
Zoántidos	2,0	1,5	0,5
Macroalgas	0,0	0,0	0,0
Otras formas de vida	1,5	1,5	1,5
Coral con algas muertas	0,0	0,0	0,0
Algas coralinas	1,5	0,5	1,5
Corales enfermos	0,0	0,0	0,0
Fondo de arena y piedras	79,0	83,0	84,0
Desconocidos	4,0	1,0	2,0

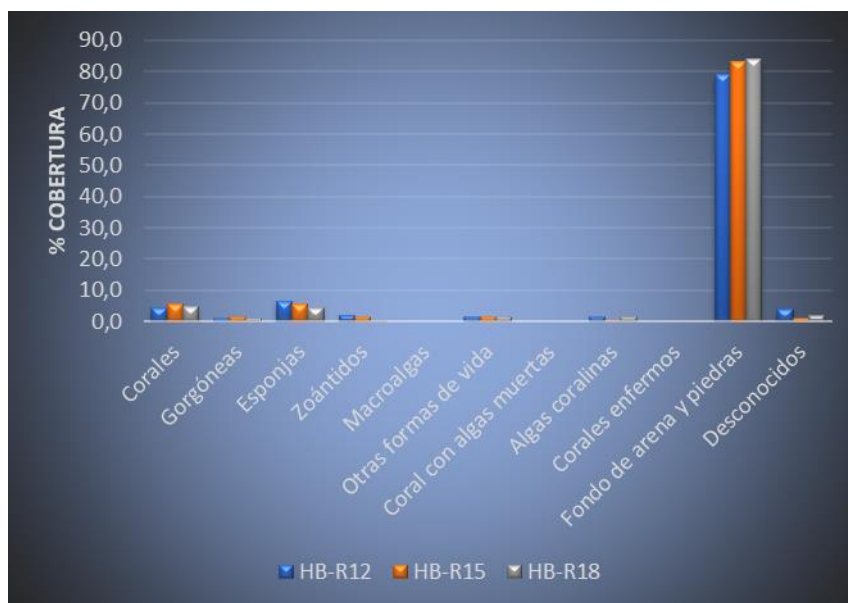


Gráfico 14. Comparativo entre los grupos biológicos de los sitios de muestreo de fondos duros someros.



CUADRO 14, COBERTURA (%) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES EN FONDOS DUROS SOMEROS

TAXAS	ESPECIES	HB-R12	HB-R15	HB-R18
Corales	<i>Agaricia agaricites</i>	1,5	2,0	1,5
	<i>Agaricia undata</i>	1,0	1,5	1,0
	<i>Agaricia fragilis</i>	0,5	1,0	0,5
	<i>Agaricia grahamae</i>	0,5	0,5	0,5
	<i>Diplora clivosa</i>	0,5	0,0	0,5
	<i>Porites asteroides</i>	2,0	0,5	0,5
	<i>Muriceopsis flavida</i>	1,0	1,0	1,0
Algas	<i>Siderastrea siderea</i>	1,5	0,5	1,5
	<i>Halimeda tuna</i>	0,5	0,5	0,5
	<i>Dictyota menstrualis</i>	0,5	0,0	0,5
	<i>Padina pavonica</i>	0,5	0,5	1,5
Esponjas	<i>Amphiroa fragilissima</i>	0,5	0,0	1,0
	<i>Aplysina cauliformis</i>	1,0	0,5	1,5
	<i>Aplysina fulva</i>	0,5	0,5	0,5
	<i>Callyspongia vaginalis</i>	1,0	1,0	0,5
	<i>Clathrina primordialis</i>	2,0	1,5	1,5
	<i>Ircinia campana</i>	1,5	1,5	0,5
Gorgóneas	<i>Xestospongia muta</i>	1,0	0,5	0,5
	<i>Pseudopterogorgia acerosa</i>	1,0	0,5	0,5
	<i>Pseudopterogorgia americana</i>	0,5	1,0	0,5
Zooantido	<i>Palytoa caribaeorum</i>	1,0	0,5	1,5
Otros	<i>Ascideas sp</i>	1,5	0,5	0,5
Crustáceos	<i>Panulirus argus</i>	1,0	0,5	0,5
Equinodermos	<i>Echinometra lucunter</i>	0,5	0,0	1,0

Este tipo de fondo costero somero o bordeante se caracteriza por presentar restos de promontorios rocosos o arrecifes fósiles, alternados con playas arenosas y rocas de origen basáltico. En estos transeptos predominó este tipo de fondo, para el sitio HB-R12 con 79%; el sitio HB-R15 con 83% y para HB-R18 con 84%. Entre los aspectos más limitantes se encuentra el oleaje -que puede llegar a ser muy fuerte en algunas épocas del año- y la sedimentación proveniente de los ríos y quebradas que desembocan en esta zona, que son distribuidos a lo largo de la costa por las corrientes y las olas.



Corales

Los arrecifes de esta área muy cercanos a la costa son colonias que deben adaptarse al embate de las corrientes, oleaje y a la sedimentación. Se registró un total de siete especies, formadas principalmente por especies pioneras como *Siderastrea sidérea*, *Agaricea undata*, *Agaricia agaricites* y *Porites astreoides*, este último el más representativo de este tipo de fondo. De esta forma, HB-R12 con un 4,5% de cobertura, HB-R15 con un 5,5% y HB-R18 con 5,0% de cobertura de en todo el transecto.

Algas y Algas Coralinas

En las costas del Caribe no es común encontrar algas y algas coralinas asociadas a tipos de fondos arenosos. De esta forma, los porcentajes registrados para este grupo biológico fueron en HB-R12 con 1,5%, HB-R15 con 0,5% y HB-R18 con 1,5%, ligeramente inferior a otros monitoreos. Sin embargo, se visualizó cerca de los transectos algas como *Halimeda tuna*, *Amphiroa fragilissima*, *Chondrophycus papillosus*, *Dictyota menstrualis*, *Padina pavonica* y *Galaxaura obtusata*.

Esponjas

Los poríferos son los organismos más conspicuo y abundante y en gran parte los primeros colonizadores de fondos rocosos; pueden alcanzar un número, tamaño y forma de acuerdo a las condiciones de oleaje, corrientes, turbidez y sedimentación. Para este grupo, en el transecto HB-R12 la cobertura fue de 6,5%, en el transecto HB-R15 de 5,5% y en el transecto HB-R18 de 4,5%. Entre las formas más comunes podemos señalar *Aplysina cauliformis*, *Aplysina fulva*, *Clathrina primordialis*, *Ircina campan* y *Xestospongia muta* y el éxito de estas esponjas no están limitada por el oleaje ni la sedimentación.

Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron una cobertura para el sitio HB-R12, con 1,0%, para HB-R15 con 1,5% y para HB-R18 con 1,0%. Las especies *Pseudopterogorgia amaericana*, *Pseudopterogorgia acerosa* y *Muriceopsis flavida* fueron las más representativas.

Zoantidos

Las zoantidos o falsos corales blandos como también se les conoce, representaron en el sitio HB-R12, con 2,0% para HB-R15 con 1,5% y para HB-R18 con 0,5%. Las especies más representativas es *Palytoa caribaerum*.

Desconocidos y otras formas de vida

Entre los “desconocidos y otras formas de vida” se encuentran las Ascidas y los invertebrados marinos como *Spirobranchus giganteus*, *Panilirus argus* y *Echinometra lucunter* que representan para HB-R12 con 4,0%, para HB-R15 con 1,0% y para HB-R18 con 2,0%.



Vista en detalle de fondo duro somero, con la presencia aislada de corales y esponjas incrustados en HB-R12.



Manchas aisladas de Agaricia sp del ecosistema de fondos duros someros (HB-R15).



Vista general del fondo duro somero en HB-R18 con esponjas (Aplysinia sp).



Vista general del fondo duro somero en HB-R15.



Vista general del fondo duro somero en HB-R12.



Padina pavonica en fondos duros someros en HB-R12.



4.4.3. Zonas próximas a la terminal de carga

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios próximos a la terminal de carga del puerto -HB-T1 y HB-T2-, se resumen en el **Cuadro 10**.

CUADRO 10. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN LAS ZONAS PRÓXIMAS A LA TERMINAL DE CARGA		
GRUPO BIOLÓGICO	HB-T1	HB-T2
Corales	0	0
Gorgóneas	0	0
Espojas	0	0
Zoántidos	0	0
Macroalgas	0	0
Otras formas de vida	0	0
Coral con algas muertas	0	0
Algas coralinas	0	0
Corales enfermos	0	0
Fondo de arena y piedras	100	100
Desconocidos	0	0

En estos dos sitios de monitoreo predominan claramente los fondos blandos, formados en su totalidad por arena fina a media. No se han observado la presencia de formas de vida en el sedimento, como corales, gorgóneas, esponjas o zoántidos, ni manchas o residuos de otro tipo, aunque durante este monitoreo se ha registrado gran cantidad de restos orgánicos (hojas, maderas, etc) en el fondo traídos por la corriente, al igual a lo observado en la anterior campaña de mayo de 2022.



Imagen del fondo en HB-T1

Imagen del fondo en HB-T2



4.4.4. Comparación entre comunidades de fondos duros

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para cada tipo de hábitats, se pueden realizar las siguientes comparaciones entre las comunidades de fondos duros profundos y someros:

- Para encontrar similitudes entre los diferentes sitios de monitoreo teniendo en cuenta las coberturas de los grupos biológicos registrados, se ha efectuado un análisis multivariante tipo cluster. El análisis cluster es un conjunto de técnicas multivariantes utilizadas para clasificar a un conjunto de muestras en grupos homogéneos. La diferencia con el análisis discriminante reside en que en el análisis cluster los grupos (sitios de monitoreo) son desconocidos a priori y son precisamente lo que queremos determinar; mientras que en el análisis discriminante, los grupos son conocidos. En el **Gráfico 15** se representa la ordenación jerárquica de los sitios de monitoreo a partir del análisis cluster.

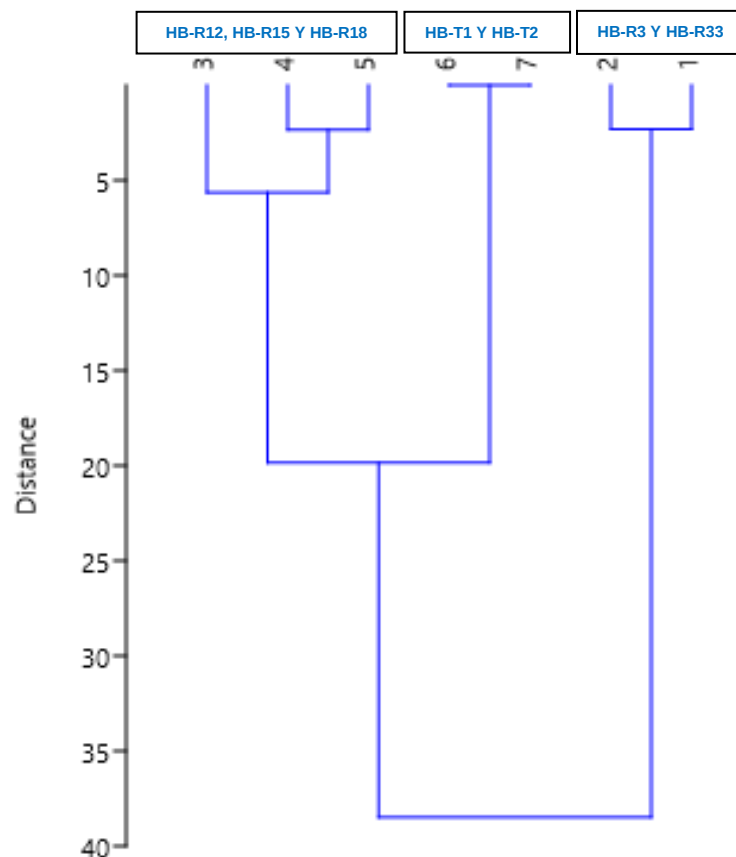


Gráfico 15. Clasificación de los sitios de monitoreo en función de los grupos del bentos marino presente en cada uno de ellos.



- Las comunidades de fondos duros en los dos sitios profundos (HB-R3 y HB-R33) son muy similares, predominando el grupo de las esponjas y seguido de los corales adaptados a las condiciones oceanográficas de este tipo de hábitats. En principio, el sitio HB-R3 ha contado con mayor cobertura de especies, pero sin ser una diferencia significativa. Entre los corales predominan *Agaricia agaricites*, *Agaricia undata*, *Diplora clivosa* y *Porites asteroides*.
- Los fondos duros someros (HB-R12, HB-R15 y HB-R18) presentan comunidades muy parecidas entre sí y diferentes de los fondos duros profundos. Entre los corales se registró un total de siete especies, formadas principalmente por especies pioneras como *Siderastrea siderea*, *Agaricia undata*, *Agaricia agaricites* y *Porites astreoides*, este último el más representativo de este tipo de fondo. Entre las esponjas se pueden destacar *Aplysina cauliformis*, *Aplysina fulva*, *Callyspongia vaginalis*, *Clathrina primordialis*, *Ircina campan* y *Xestospongia muta*, no estando limitados por el oleaje ni la sedimentación.
- Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales de los sitios de muestreo en fondos duros profundos y someros fueron muy parecidas, destacando las especies *Pseudopterogorgia amaericana*, *Pseudopterogorgia acerosa* y *Muriceopsis flavida*.
- En las costas del Caribe no es común encontrar algas y algas coralinas asociadas a tipos de fondos arenosos; así los porcentajes registrados para este grupo biológico fueron ligeramente inferior a otros grupos biológicos. Sin embargo, se visualizó cerca de los transeptos algas como *Halimeda tuna*, *Amphiroa fragilissima*, *Chondrophycus papillosus*, *Dictyota menstrualis*, *Padina pavonica* y *Galaxaura obtusata*.
- El grupo de las otras formas de vida y los desconocidos conformados por especies de invertebrados marinos, se pueden mencionar las especies como Ascidiás, langosta *Panillurus argus*, poliquetos como *Spirobranchus giganteus*, *Echinometra lucunter*, y el Crinoideo *Nemaster grandis*.
- Los sitios HB-T1 y HB-T2 presentan un sustrato dominado mayoritariamente (>99%) por las arenas finas a medias, en las que no se han registrado especies típicas de fondos duros, con la ausencia de corales y otras formaciones biológicas de interés. Forman claramente un grupo diferente al resto de sitios de monitoreo, aunque con una cierta similitud con los sitios someros por la composición, también alta en éstos (>75%) de arenas y piedras en el sustrato.
- Por comparación con los resultados obtenidos en anteriores monitoreos, se destaca que no se han encontrado diferencias que superen el 5-10% de cobertura o composición de especies, lo que indica una escasa diferencia en los resultados obtenidos. Estas diferencias son normales, ya que la metodología seguida tiene una incertidumbre relativa, debida principalmente a la posición del transecto y cuadrante que pueden variar de unos monitoreos a otros.



4.5. Hábitats de fondos blandos

4.5.1. Introducción

La fauna bentónica de fondos blandos es la comunidad de organismos que vive en estrecha relación con el fondo de los ecosistemas acuáticos en donde predominan materiales con una alta composición granulométrica en arenas a limos.

Comprende una gran diversidad de grupos taxonómicos, destacando los poliquetos, moluscos, crustáceos y equinodermos, cuyas capacidades de natación o ambulación son reducidas o ausentes y su periodo de vida les permite mostrar respuestas a las variaciones ambientales, haciéndolos útiles para evaluar posibles impactos que podrían generar las actividades de origen antropogénico.

Es por ello, que la fauna bentónica de fondos blandos es evaluada con interés y así poder comprender la reacción y efecto de la biota marina ante los probables indicios de contaminación o alteración ambiental (Gray, 1981; Levinton 1982).

Con este fin, se procedió al muestreo de los fondos blandos de los diez (10) sitios de muestreo, con la recolección de muestras para el estudio de la composición y abundancia de las especies del bentos marino de fondos blandos, así como el estudio de su estructura teniendo en cuenta los principales índices estructurales. En definitiva, se pretende valorar el posible impacto de las operaciones de la mina y el puerto de Punta Rincón sobre estas comunidades.

4.5.2. Composición y abundancia

Se muestrearon 10 estaciones, de las cuales se cuantificó un total de 18.219 individuos y se identificaron 3 Phyla, 5 Clases, 27 Órdenes y 34 Familias. Con 39 taxones registrados, el bentos está constituido mayoritariamente por Moluscos con 27 especies, en menor proporción los Poliquetos con 7 y Crustáceos y otros grupos con 5 taxones (se resumen en el **Cuadro 11**).



CUADRO 11. LISTA TAXONÓMICA DE LOS GRUPOS IDENTIFICADOS EN LA COMUNIDAD BENTÓNICA DE FONDOS BLANDOS

Phylum	Clase	Orden	Familia
Annelidos		Eunicida	Onuphidae
Moluscos	Polychaeta	Phyllodocida	Glyceridae
		Malelonida	Magelonidae
		Canalipalpata	Sabellidae
		Scolecida	Paraonidae
		Capitellida	Arenicolidae
	Bivalvos	Veneroida	Ungulinidae
	Gasteropodos	Cardiida	Tellinidae
		Venerida	Veneridae
		Mytiloida	Mytilidae
		Neogastropoda	Mangeliidae
			Cancellariidae
			Nassariidae
		Sorbeoconcha	Olivellidae
			Cerithiidae
		Caenogastropoda	Naticidae
			Marginellidae
		Archaeogastropoda	Epitoniidae
		Mesogastropoda	Littorinidae
		Heterobranquios	Pyramidellidae
		Trochida	Tegulidae
			Phasiellidae
		Neotaenioglossa	Cerithopsidae
		Ellobiida	Ellobioidea
		Lepetellida	Fissurellidae
		Pyramidellida	Pyramidellidae
		Littorinimorpha	Eulimidae
			Triviinae
			Littorinidae
			Cymatidae
		Cephalaspia	Retusidae
			Haminoeidae
	Scaphopoda	Gadilida	Gadilidae
Crustaceos	Malacostrata	Amphipoda	Gammaridae
		Isopodo	
		Cumacea	
3	5	27	34



Los resultados globales de la composición y abundancia (ind/m²) de las especies y grupos del bentos marino, tanto para las estaciones profundas (HB-R3 y HB-R33 en conjunto), como someras (HB-T1, HB-T2, HB-R12, HB-R15, HB-R18 y HB-CE) y los sitios HB-E10 y HB-E4 se resumen en el **Cuadro 12**.

CUADRO 12. DENSIDAD (ind/m ²) DEL BENTOS DE FONDOS BLANDOS											
TAXONES	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-T1	HB-T2	HB-CE	HB-E10	HB-E4	TOTAL
<i>Cerithium sp.</i>	74	15	148	222	296				148	74	977
<i>Epitonium sp.</i>			15	74	15						104
<i>Anachis sp.</i>			148	222	296				74	15	755
<i>Nassarius sp.</i>	148	222	74	74	15	15	15			74	637
<i>Diplodonta sp.</i>								74			74
<i>Natica sp.</i>	148	222	74	148	296	15	15		74	74	1066
<i>Tellina sp.</i>	74	148	222	296	370	74	148		148	74	1554
<i>Olivella sp.</i>	370	222	222	26	148	74	15	15		15	1107
<i>Rissoina sp.</i>	74	148	370	444	15				15	74	1140
<i>Littorina sp.</i>			74	222					15	74	385
<i>Retusa sp.</i>	74	148	222	370	444			15	74	74	1421
<i>Persicula sp.</i>	74	222	296	148	74			15			829
<i>Balcis sp.</i>			74	222	148			15			459
<i>Turbonilla sp.</i>			148	74	15						237
<i>Cerithiopsis sp.</i>			15	74	74						163
<i>Thiphora sp.</i>			74	15	148						237
<i>Tegula sp.</i>	74	148	156	222	296				15	15	926
<i>Mangelia sp.</i>			148	74	15				74	15	326
<i>Fissurella sp.</i>			74	148	296				15	74	607
<i>Hyalina sp.</i>			222	15	74			148			459
<i>Cymatium sp.</i>			15	74							89
<i>Tricolia sp.</i>				15	15						30
<i>Acmaea sp.</i>						74	15		74		163
<i>Emarginula sp.</i>		74	74	148	89						385
<i>Prunum sp.</i>		222	296	15	74				15		622
<i>Nerita sp.</i>		15	15	74							104
<i>Cittorina sp.</i>			74	148					15		237
<i>Onuphidae</i>									74		74
<i>Glycera sp.</i>		222	74		74	15	148	15		74	622
<i>Mangelona sp.</i>		15	296	15							326
<i>Cirratulidae</i>				15	74						89
<i>Capitellidae</i>		15	74		15	148					252
<i>Paraonidae</i>						15	15				30



CUADRO 12. DENSIDAD (ind/m ²) DEL BENTOS DE FONDOS BLANDOS											
TAXONES	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-T1	HB-T2	HB-CE	HB-E10	HB-E4	TOTAL
<i>Arenicola sp.</i>			74	148		222	296				740
<i>Goniadidae</i>			89		44	22	156				311
<i>Gammaridae</i>				15	222			74	15	74	400
<i>Isopodo</i>			15	74				15	74		178
<i>Cumacea</i>								148			148
<i>Anfipodo</i>			15	15	148		74				252
Total	1110	2058	3887	3846	3790	674	897	534	919	800	18515

Del análisis de la densidad por localidades monitoreadas se puede señalar que los sitios HB-R12 y HB-R15 presentaron las mayores densidades, con 3.887 ind/m² y 3.846 ind/m² respectivamente, seguido de las estaciones HB-R18 con 3.790 ind/m² y HB-R33 con 2.058 ind/m². Las de menor abundancia fueron HB-CE con 534 ind/m² y HB-T1 con 674 ind/m². Los moluscos dominan claramente la comunidad en todos los sitios de monitoreo, seguido de los anélidos poliquetos.

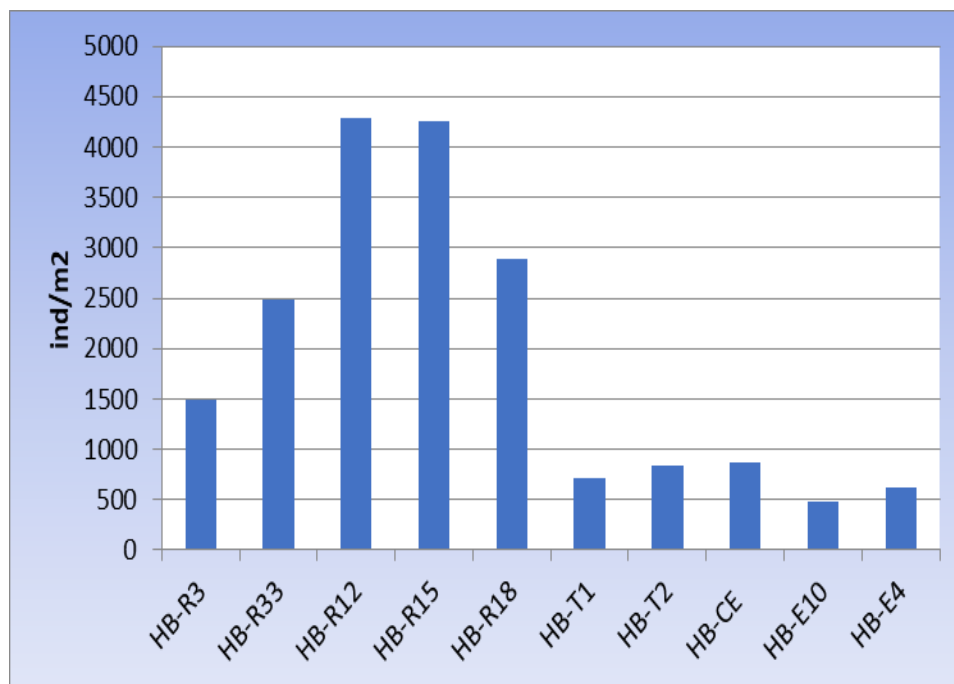


Gráfico 16. Distribución en los diferentes sitios de monitoreo de la densidad (ind/m²) del bentos de fondos blandos.



Entre las especies, destaca la dominancia de los moluscos *Tellina sp* (8,5% del total) y *Olivella sp.* y *Risonia sp* (con un 6% del total cada una). *Cerithium sp.* presenta elevados porcentajes de presencia (5,3%) y muy presente en todos los sitios de monitoreo.

Para encontrar similitudes entre los diferentes sitios de monitoreo teniendo en cuenta las especies del bentos de fondos blandos identificadas en cada uno, se ha efectuado un análisis multivariante tipo cluster (**Gráfico 17**).

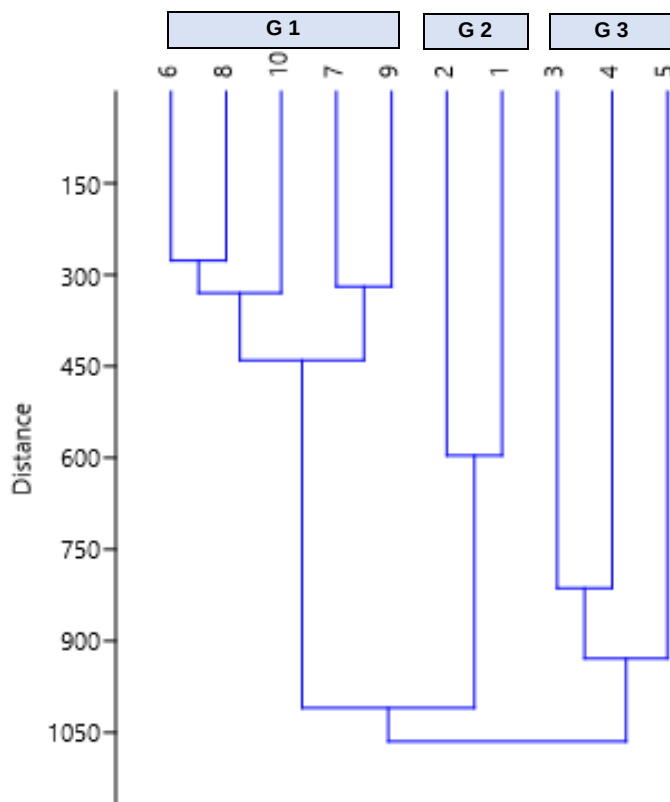


Gráfico 17. Clasificación de los sitios de monitoreo en función de los grupos del bentos blando marino presente en cada uno.

Teniendo en cuenta el análisis de clasificación, se han identificado cuatro grupos principales:

- Grupo 1 (G1): con un amplio grupo de estaciones (HB-T1, HB-E10, HB-T2, HB-CE y HB-E4), presentan menor densidad y riqueza de especies y se corresponden con las zonas intermedias en profundidad, con baja densidad y riqueza de especies.
- Grupo 2 (G2): agrupa a las estaciones de los sitios más profundos, con HB-R3 y HB-R33.
- Grupo 3 (G3): que agrupa a los tres sitios menos profundos y asociados al litoral, con influencia de las corrientes y aportes telúricos (HB-R12, HB-R15 y HB-R18), que presentan en este monitoreo similitud de especies.



4.5.3. Estructura de la comunidad

Se muestran en el **Cuadro 13** los resultados de los índices estructurales del bentos marino.

CUADRO 13. ÍNDICES ESTRUCTURALES DE LA COMUNIDAD DEL BENTOS BLANDO										
INDICES	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-T1	HB-T2	HB-CE	HB-E10	HB-E4
Taxa_S	9	15	31	31	27	10	10	10	16	14
Individuals	1110	2058	3887	3846	3790	674	897	534	919	800
Dominance_D	0,17	0,09	0,05	0,06	0,07	0,19	0,20	0,20	0,10	0,09
Simpson_1-D	0,83	0,91	0,95	0,94	0,93	0,81	0,80	0,80	0,90	0,91
Shannon_H	1,99	2,47	3,14	3,07	2,90	1,88	1,82	1,87	2,49	2,51
Evenness_e^H/S	0,81	0,78	0,75	0,69	0,68	0,66	0,62	0,65	0,75	0,88
Brillouin	1,96	2,44	3,11	3,04	2,88	1,84	1,79	1,82	2,44	2,46
Menhinick	0,27	0,33	0,50	0,50	0,44	0,39	0,33	0,43	0,53	0,50
Margalef	1,14	1,84	3,63	3,63	3,16	1,38	1,32	1,43	2,20	1,95
Equitability_J	0,91	0,91	0,91	0,89	0,88	0,82	0,79	0,81	0,90	0,95

Los valores del índice de diversidad de Shannon-Wiener se mantuvieron en el rango de 1,8-3,1 bits, con una excepción en la que se registraron pocas especies e individuos en HB-T1 (1,8 bits). Las mayores diversidades se han dado en los sitios HB-R12 (3,14 bits), HB-R15 (3,07 bits) y HB-R18 (2,90 bits). Con el índice de diversidad de Margalef se obtienen resultados similares, aunque presenta un mayor valor en el HB-R12, al tener una densidad de especies significativamente más elevada que el resto.

La distribución espacial de la macroinfauna asociada a fondos blandos frente a Punta Rincón presenta comunidades típicas de hábitats caribeños y poco alteradas por las operaciones de la mina y el puerto, en donde las variables ambientales profundidad y localización geográfica no tienen mayor influencia sobre su estructura y distribución; es decir, no hay mayores diferencias en cuanto a la composición por taxa entre las estaciones profundas y someras.

Asimismo, no se presentaron especies características de las asociaciones y, en la mayor parte de los sitios, hay pocas especies abundantes, dominantes o frecuentes para el total de la comunidad.

Se han encontrado diferencias en las densidades totales registradas con respecto a los monitoreos de años anteriores, presentando una composición de especies similar, aunque con variaciones en la densidad y distribución de las mismas debidas a incertidumbres en las técnicas analíticas y a la propia variación estacional de las poblaciones.

PRINCIPALES TAXONES DEL BENTOS MARINO DE FONDOS BLANDOS



NITIDELLA SP



MITRELLA SP



CYLICHNA SP



CERITHIUM ATRATUM



DIPLODON SP



TELLINA





4.6. Estudio de la comunidad de peces

4.6.1. Introducción

El presente monitoreo marino incluye los resultados del seguimiento de la ictiofauna presente en los fondos duros y arenosos en aguas someras y profundas cercanos a Punta Rincón. La evaluación continua del estado de la comunidad ictiológica en dichos fondos es de suma importancia, ya que el mismo puede reflejar el estado del ambiente circundante, permitiendo detectar cualquier variación en la composición ictiológica en éste área de estudio asociado a posibles efectos debidos a la operación del puerto y la mina.

El hábitat superficial de fondo duro (al este y oeste) de Punta Rincón inicia en aguas intermareales. Los hábitats de fondo duro al oeste presentan un área de grandes cantos rodados meteorizados que parecen haberse originado del promontorio de Punta Rincón. Las grandes rocas redondeadas y cantos rodados se extienden desde el borde de la playa hasta una profundidad aproximada de 8 m siguiendo un patrón triangular. Este hábitat de fondo duro al este es un área de afloramientos de lecho rocoso combinados con cantos rodados meteorizados. Esta característica se encuentra en aguas superficiales (5 a 8 m) al este de las instalaciones del puerto y cubre un área limitada. Entremezclado con esta formación, aparecen manchas de arenales costeros, muy característicos de la costa del Caribe panameño, que representan un hábitat muy importante para las comunidades de peces e invertebrados.

De esta forma, el estudio y censo de las comunidades de peces, tanto en los hábitats de fondos profundos, como de fondos someros más próximos a la costa, se ha centrado en los siguientes objetivos:

- Descripción de la composición cuantitativa y cualitativa de las especies de peces
- Descripción estructural de las comunidades. Diversidad biológica
- Estudio específico del pez león (*Pterois volitans*)
- Estudio específico del pez tamboril (*Canthigaster rostrata*)

4.6.2. Composición y abundancia de especies

FONDOS PROFUNDOS

Los fondos profundos (duros y blandos) se ubican aproximadamente a 1 km de la costa frente al área de construcción del puerto, entre 80-96 pies de profundidad y están conformados por fondos duros que se levantan sobre un fondo arenoso que los rodea, hasta unos 15-20 pies. Estas lajas se encuentran tapizadas principalmente por esponjas y algunas especies de algas macroscópicas marinas. La visibilidad de sus aguas durante los buceos fue de 30 a 40 pies.

En el **Cuadro 14** se recoge el censo con la estima de abundancia de las especies de peces registradas en los dos sitios de muestreo (HB-R3 y HB-R33) representativos de fondos profundos.



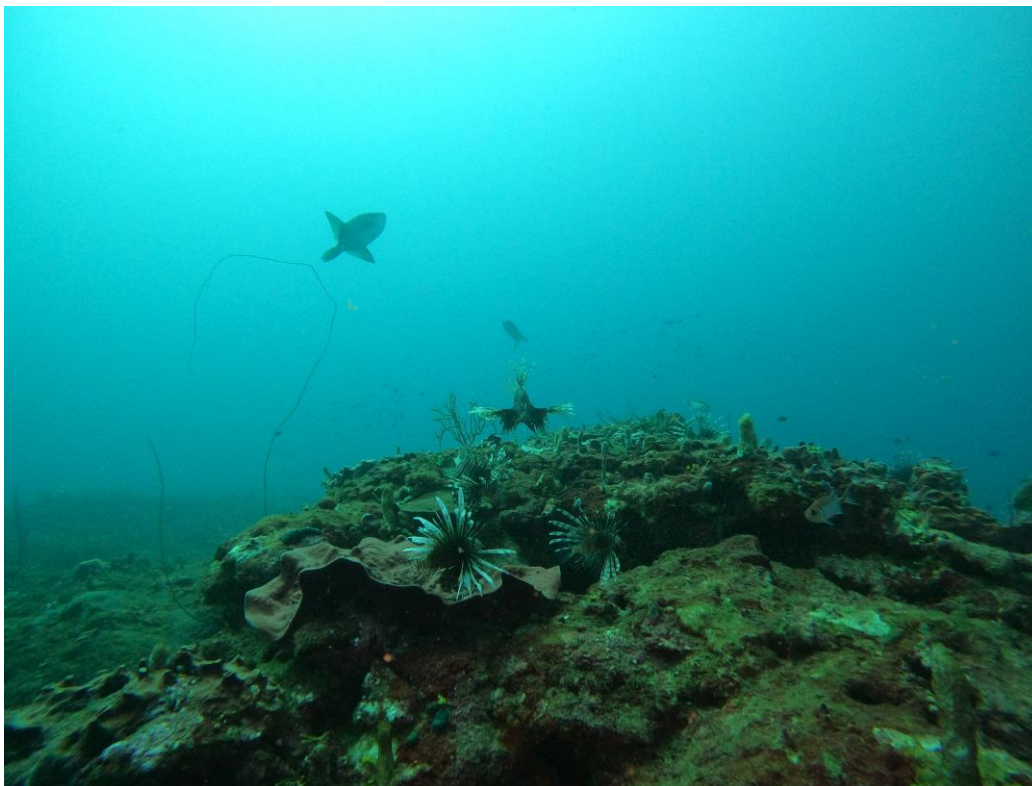
CUADRO 14. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10³m²) DE PECES EN FONDOS PROFUNDOS

Familia (nombre común)	Especie	HB-R3	HB-R33
Acanthuridae (cirujanos)	<i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	10	20
Carangidae (jureles)	<i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)	5	5
	<i>Caranx latus</i> Agassiz, 1831	30	20
Scorponidae (peces escorpión)	<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)	20	20
Haemulidae (roncador)	<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
	<i>Haemulon aurolineatum</i> Cuvier, 1830	5	5
Kyphosidae (chopas)	<i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)	10	5
Labridae (lábridos)	<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)	15	5
	<i>Halichoeres bivittatus</i> (Bloch, 1791)	5	5
	<i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)	10	5
	<i>Thalassoma bifasciatum</i> (Bloch, 1791)	5	5
Lutjanidae (pargos)	<i>Lutjanus cyanopterus</i> (Cuvier, 1828)	20	10
	<i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)	5	0
	<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	5	30
Mullidae (salmonete)	<i>Pseudupeneus plumieri</i> (Bloch, 1786)	5	5
Pomacanthidae (angeles)	<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)	10	30
Pomacentridae (dama)	<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
	<i>Chromis cyanea</i> (Poey, 1860)	10	5
	<i>Stegastes fuscus</i> (Cuvier, 1830)	5	0
Scaridae (loros)	<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)	5	0
Serranidae (mero)	<i>Epinephelus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)	5	0
Sparidae (cabezón)	<i>Archosargus rhomboidalis</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
Sphyraenidae (barracuda)	<i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards in Catesby, 1771)	0	5
Tetraodontidae (tamboril)	<i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)	0	0
TOTAL		195	190

Para los fondos duros profundos evaluados se censó un total de 385 individuos/10³ m² entre HB-R3 y HB-R33, pertenecientes a 23 especies de peces, incluidas en 19 géneros y 15 familias. Todos los peces observados fueron óseos (Osteichthyes). Las especies más abundantes fueron *Caranx latus* (10-15%) *Acanthurus bahianus* (5-10%), *Lutjanus cyanopterus* (5-10%) y *Lutjanus synagris* (2-15%). La presencia del tamboril (*Canthigaster rostrata*) fue nula en los monitoreos de los fondos profundos, no registrándose ningún individuo de esta especie.



Comunidad de peces de fondos duros, con presencia de Pomacanthus sp. y Anisotremus virginicus.



El pez león aparece muy distribuido en los fondos duros. Al fondo, un ejemplar de la familia Molidae.

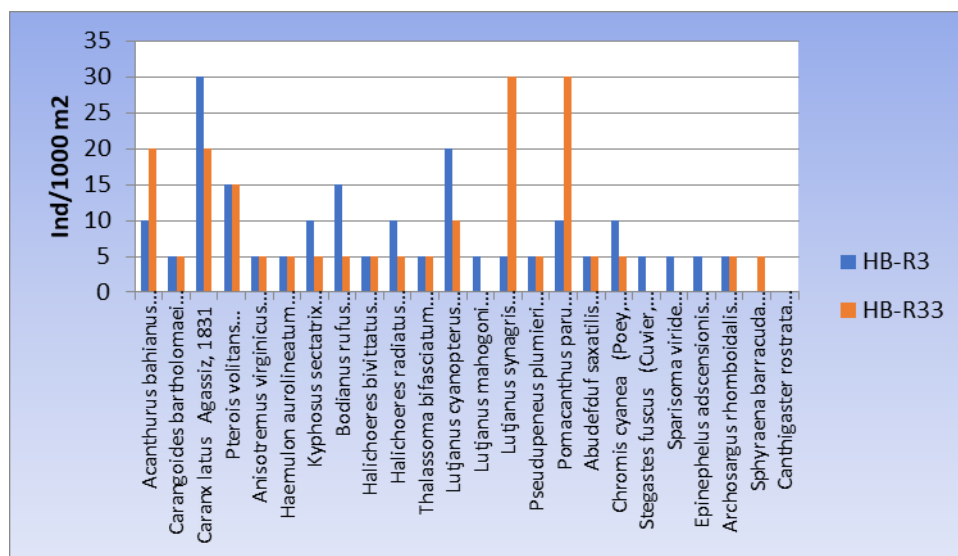


Gráfico 18. Distribución porcentual de las especies ícticas en los fondos profundos.

FONDOS SOMEROS

Son áreas con una profundidad de 20 a 30 pies aproximadamente y están conformados por arena y piedras de tamaño medio a rocas grandes, tapizadas por diversas formas bentónicas de macroalgas, esponjas, etc.

Este lecho marino está influenciado directamente por el oleaje (debido a su poca profundidad); que se refleja sobre la arena. Adicional a esto, se observa la presencia de vegetación continental sumergida, muy característico en áreas aledañas a los ríos en el Caribe de Panamá (Garrity & Levings, 1993). Esta condición puede ser originada por la descarga del río Caimito, ubicado al Este, debido al patrón dominante de corrientes marinas en el área, logrando exportar, parte de su vegetación, hacia estos fondos. Se observa la presencia de grandes rocas depositadas en el fondo producto de la construcción del rompeolas.

En el **Cuadro 15** se incluye la composición y abundancia de las especies de peces registradas en los sitios de muestreo (HB-R12, HB-R15, HB-R18, HB-T1 y HB-T2) representativos de fondos someros y en el **Gráfico 19** la representación gráfica de las diferentes densidades registradas en cada sitio de monitoreo.



CUADRO 15. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10³ m²) DE PECES EN FONDOS SOMEROS

FAMILIAS (N. Común)	Especies	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-T1	HB-T2
Acanthuridae (cirujanos)	<i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	10	30	20	0	0
	<i>Acanthurus coeruleus</i> Bloch & Schneider, 1801	10	10	0	0	0
Carangidae (jureles)	<i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)	20	20	105	0	0
	<i>Caranx crysos</i> (Mitchill, 1815)	10	5	0	0	0
Scorpionidae (peces escorpión)	<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)	15	5	5	0	0
Gerreidae (mojarra)	<i>Eucinostomus melanopterus</i> (Bleeker, 1863)	5	0	10	0	0
	<i>Gerres cinereus</i> (Walbaum, 1792)	5	10	10	0	0
Haemulidae (roncador)	<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	20	15	10	0	0
	<i>Haemulon carbonarium</i> (Poey, 1860)	5	0	5	0	0
	<i>Haemulon flavolineatum</i> (Desmarest, 1823)	10	20	5	0	0
	<i>Haemulon sciurus</i> (Shaw, 1803)	20	0	10	0	0
Holocentridae (ardillas)	<i>Holocentrus rufus</i> (Walbaum, 1792)	0	5	5	0	0
Kyphosidae (chopas)	<i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)	30	20	10	0	0
Labridae (lábridos)	<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)	10	5	5	0	1
	<i>Halichoeres bivittatus</i> (Bloch, 1791)	0	10	5	0	0
	<i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)	0	5	5	0	0
Lutjanidae (pargos)	<i>Lutjanus analis</i> (Cuvier, 1828)	10	10	10	0	0
	<i>Lutjanus apodus</i> (Walbaum, 1792)	15	10	5	0	0
	<i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)	10	5	5	0	0
	<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	25	5	15	0	0
Pomacanthidae (ángeles)	<i>Holacanthus tricolor</i> (Bloch, 1795)	0	5	5	0	0
	<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)	10	20	30	0	0
Pomacentridae (dama)	<i>Chromis insolata</i> (Cuvier, 1830)	5	5	0	0	0
	<i>Microspathodon chrysurus</i> (Cuvier, 1830)	15	5	0	0	0
	<i>Stegastes diencaeus</i> (Jordan & Rutter, 1897)	0	5	5	0	0
	<i>Stegastes partitus</i> (Poey, 1868)	5	5	0	0	0
	<i>Stegastes variabilis</i> (Castelnau, 1855)	10	5		0	0
Scaridae (loros)	<i>Scarus guacamaia</i> (Cuvier, 1829)	5	5	0	0	0
	<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)	5	5		0	0
Serranidae (mero)	<i>Epinephelus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)	0	5	5	0	0
Sparidae (cabezón)	<i>Calamus penna</i> (Valenciennes, 1830)	0	0	5	0	0



CUADRO 15. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10³ m²) DE PECES EN FONDOS SOMEROS

FAMILIAS (N. Común)	Especies	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-T1	HB-T2
Sphyraenidae (barracuda)	<i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards in Catesby, 1771)	0	0	5	0	0
Tetraodontidae (tamboril)	<i>Diodon hystrix</i> (Linnaeus, 1758)	5	0		0	0
	<i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)	0	0	0	0	0
TOTAL		466	290	255	300	0

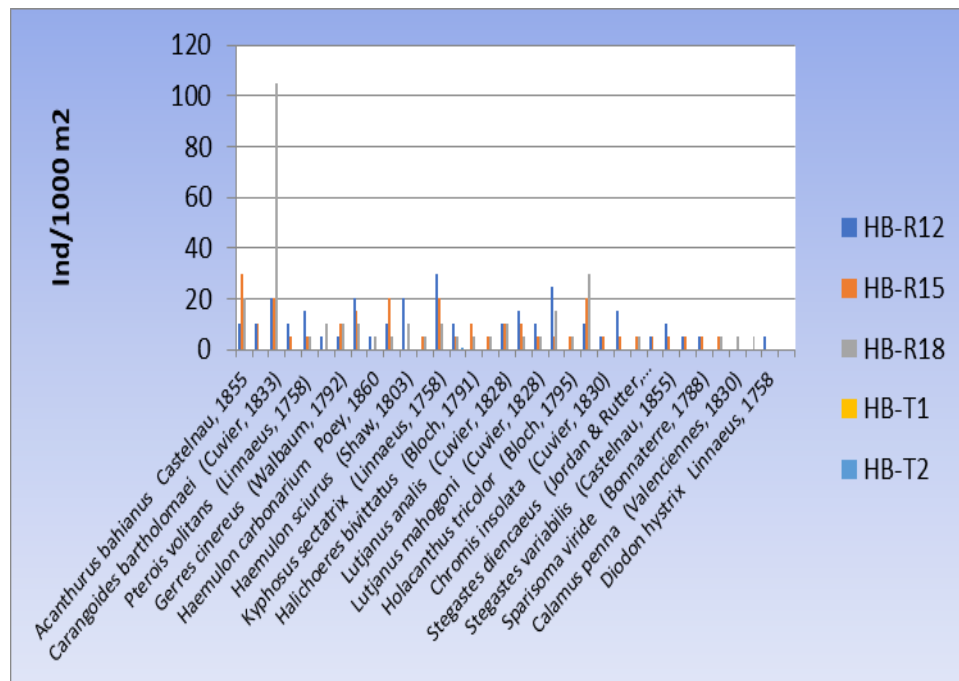


Gráfico 19. Distribución porcentual de las principales especies de peces de seguimiento en fondos someros.

En los fondos duros someros, se registraron un total de 846 individuos/1000 m² pertenecientes a 33 especies de seguimiento, distribuidas en 25 géneros y 16 familias. El número de taxones registrados fue similar en los sitios HB-R12, HB-R15 y HB-R18 (25, 27 y 24). Todos los peces observados fueron óseos (Osteichthyes). Las especies más abundantes en los fondos someros (HB-R12-HB-R15-HB-R18) fueron *Acanthurus bahianus* (3-11-6%), *Carangoides bartholomaei* (6-7-35%) y *Kyphosus sectatrix* (10-7-3%), con claras diferencias con respecto a la zona profunda. Por su parte, solo en el sitio HB-T2 se registró un individuo de *Bodianus rufus*, debido a que no reúne hábitats apropiados para la fauna íctica al no contar con sustratos y refugios adecuados y presentar una fuerte corriente. Asimismo, en este monitoreo no se ha registrado ningún individuo de tamboril en estos sitios.



4.6.3. Análisis estructural de las comunidades de peces

Para medir la diversidad de las especies de peces en los sitios muestreados, se utilizó el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver, así como otros índices que estiman la estructura poblacional. El **Cuadro 16** muestra los valores obtenidos para los diferentes sitios.

CUADRO 16. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS COMUNIDADES DE PECES							
INDICES	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-T1	HB-T2
Taxa_S	22	19	25	27	24	0	1
Individuals	195	190	290	255	300	0	1
Dominance_D	0,06	0,09	0,05	0,05	0,15	-	-
Simpson_1-D	0,94	0,91	0,95	0,95	0,85	-	-
Shannon_H	2,95	2,70	3,11	3,14	2,60	0,00	0,00
Evenness_e^H/S	0,87	0,79	0,89	0,85	0,56	1,00	1,00
Brillouin	2,70	2,48	2,90	2,89	2,42	0,00	0,00
Menhinick	1,58	1,38	1,47	1,69	1,39	1,00	1,00
Margalef	3,98	3,43	4,23	4,69	4,03	0,00	0,00
Equitability_J	0,96	0,92	0,96	0,95	0,82	-	-

La disminución de la riqueza (nº especies e individuos), así como de la cantidad de individuos e incremento del tamaño de las especies observadas, coinciden con lo observado en diversas latitudes del Caribe (BOHLKE, et al 1993, BUSSING, 1987 y BUSSING, W.A. 1998), en las cuales la mayor cantidad y diversidad de individuos ícticos de menor tamaño, se encuentran en las áreas costeras poco profundas, por ser estas zonas de crecimiento y desarrollo de dichas especies. Los índices de diversidad en estas zonas alcanzan valores de 3,14 bits de diversidad, en comparación con las profundas, con valores de 2,9-2,7 bits.

A partir de los resultados obtenidos, se puede inferir que lo registrado en este monitoreo representa el estado actual y normal de las poblaciones de peces de los fondos duros profundos; ya que en dichos lugares no se ha desarrollado una sobrepesca que pudiera afectarlos, como lo que ha ocurrido en otras áreas del Caribe de Panamá (Jácome, 2001). Teniendo en cuenta estos resultados, los peces registraron una diversidad y composición similar en los sitios profundos, por un lado, y en los someros por otro, y en general con mayor densidad y diversidad en los someros.

Por lo tanto, se puede inferir que las condiciones actuales de los fondos profundos y someros son favorables para la comunidad ictiológica presente en estos sitios –con excepción de HB-T1 y HB-T2 que no reúnen hábitats apropiados y en donde solo predominan las arenas-, donde juega un papel importante en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. No se han observado efectos debido a las actividades de operación de la mina o del puerto.



Comunidad diversas en fondo duro somero de varias especies y tamaños, con dominio de Pomacanthus sp.



Cardumen de Carangoides bartholomaei en fondo duro somero de HB-R15.



4.6.4. Estudio de las poblaciones de pez león (*Pterois volitans*)

En el **Cuadro 17** y **Gráfico 20** se resumen, para los años 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y presente 2022 las observaciones de pez león (*Pterois volitans*) en ind/10³ m² para los transeptos evaluados en el fondo somero (HB-R12, HB-R15 y HB-R18) y fondo profundo (HB-R3 y HB-R33) en donde se realiza su seguimiento.

CUADRO 17. DENSIDADES (IND/m ²) DE PEZ LEÓN EN LOS DIFERENTES AÑOS DE MONITOREO					
AÑO	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18
2016	20	10	5	25	20
2017	15	20	10	6	5
2018-1S	20	20	10	25	5
2018-2S	10	15	10	20	5
2019-1S	10	10	5	0	0
2019-2S	5	5	5	0	5
2020-2S	5	5	10	5	5
2021-1S	5	5	5	5	5
2021-2S	5	5	10	5	5
2022-1S	15	15	15	25	5
2022-2S	20	20	15	5	5

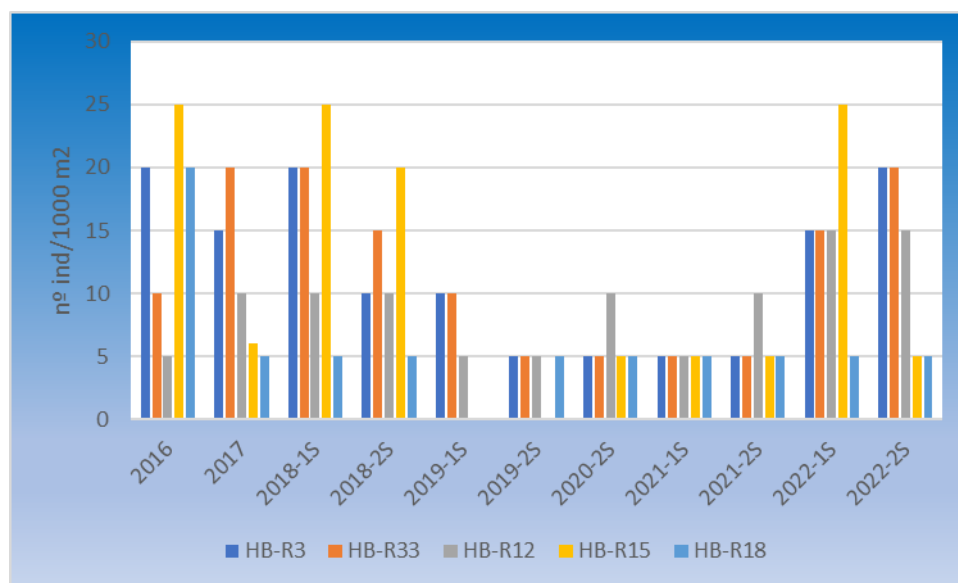


Gráfico 20. Evolución de los efectivos de pez león (*Pterois volitans*) en los diferentes sitios y años de monitoreo.

La abundancia relativa de esta especie en el presente monitoreo fue de 1-5% para el fondo somero y de 5% para el fondo profundo, con una mayor presencia en los fondos duros asociados con rocas y presencia de corales y refugios. Se observa que la especie ha registrado porcentajes y densidades variables a lo largo del período estudiado, con un mayor número entre los años 2016 y 2018 y el año 2022 y, con menor densidad, los años 2019-2021.

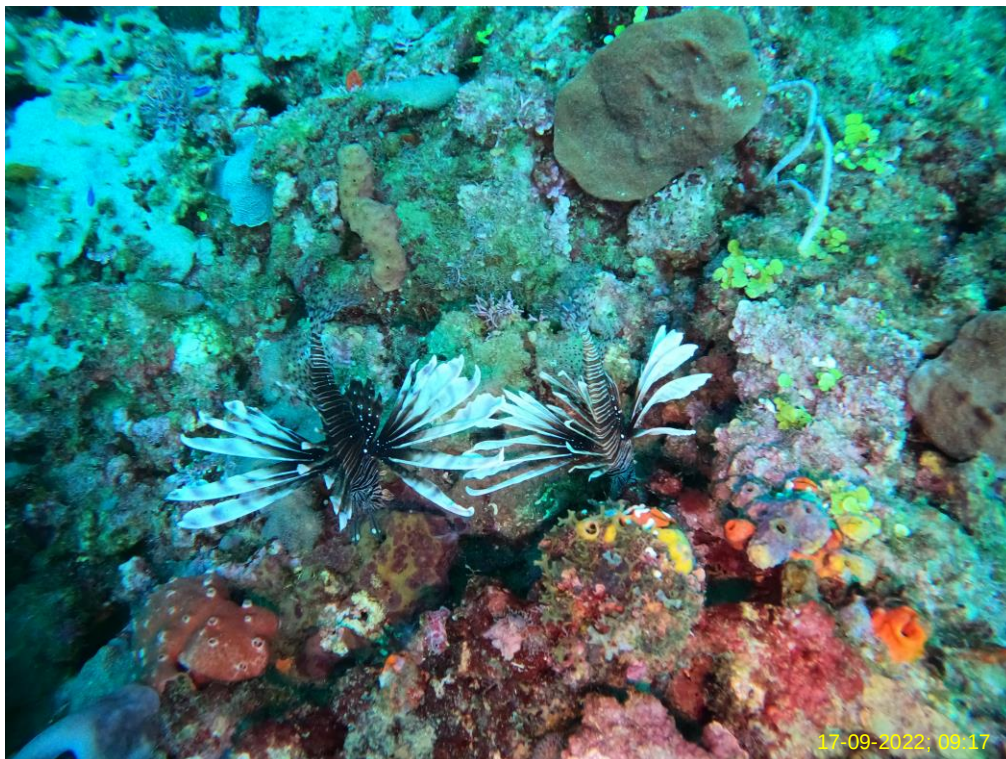
Teniendo en cuenta la evolución de los efectivos de esta especie, se puede adelantar que, a partir de los datos disponibles, la población de pez león en el área de estudio ha llegado a un



tamaño y densidad poblacional más o menos estable, aunque pueden variar los efectivos entre los sitios de monitoreo y años debido a factores externos (alimento, depredación, etc).

Esta especie está posicionada en las partes altas de los transectos monitoreados, observándose principalmente peces juveniles y adultos. Como especie invasiva, puede ocasionar graves problemas ecológicos en la estructura ictiológica de los arrecifes en los fondos duros de piedra y arrecifes de coral (Christopher & Olden, 2011) en el área del Caribe de Panamá.

Es una especie invasora y dañina para el ecosistema, que llegó a las aguas del Caribe de Panamá a través de las corrientes (Vásquez-Yeomans et al. 2011), producto de la invasión de este organismo, la cual se originó en Florida, Estados Unidos (Whitfield et al. 2002; Hare & Whitfield, 2003, Schofield, 2010). Debido a su impacto, se recomienda desarrollar un plan para el control de las poblaciones de esta especie en las áreas cercanas al proyecto de Minera Panamá.



Presencia del pez león (Pterois volitans) en los monitoreos de fondos profundos.





5. RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL ROMPEOLAS

El objetivo de este estudio específico es realizar la caracterización de las comunidades biológicas de fondos duros y peces, así como la toma de muestras de agua en el rompeolas que se ha construido para el puerto de Punta Rincón.

El monitoreo y seguimiento de la evolución temporal en los procesos de colonización de las comunidades biológicas de las rocas depositadas para el rompeolas, permitirá evaluar la utilidad de estos espacios como hábitats artificiales. De ser así, estos nuevos hábitats contribuirán a una mayor riqueza y abundancia de especies bentónicas y pelágicas en la zona de afección del puerto.

5.1. Estudio de fondos duros

Los resultados de cobertura (%) de las diferentes formaciones biológicas que colonizan el rompeolas se recoge en el **Cuadro 19**.

GRUPOS BIOLÓGICOS	RO1	RO2	RO3	RO7	RO4	RO5	RO6
Corales	0,3	2,8	9,0	5,7	0,5	0,00	0,00
Gorgóneas	0,00	0,00	0,6	0,00	0,00	0,00	0,00
Eponjas	0,00	0,00	1,5	0,00	0,00	0,00	0,00
Zoántidos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Macroalgas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Otras formas de vida	0,5	1,5	2,8	3,1	0,00	0,00	0,00
Coral con algas muertas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Algas coralinas	0,7	1,1	1,5	3,3	0,00	0,00	0,00
Corales enfermos	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00
Piedras	97,2	91,3	82,7	85,8	99,5	100,0	100,0
Desconocidos	1,3	3,3	1,9	2,1	0,00	0,00	0,00

Las variaciones son ligeramente positivas, con un aumento paulatino de las coberturas de las principales formaciones (corales, esponjas, etc) del orden de 0,05-0,1% cada año.

Corales

El sitio de muestreo RO3 presenta la mayor cobertura de corales con 9,0%, seguido del RO7 con un 5,7% y el RO2 con un 2,8%, los tres pertenecientes a los sitios externos y más expuestos a mar abierto. En los sitios internos -RO4, RO5 y RO6- se han registrado colonias de coral, aunque con formaciones muy iniciales en primeras fases de colonización y de pequeño tamaño. Los corales formados aparecen solo en la parte más externa del rompeolas, y están representados por colonias que deben adaptarse al embate de las corrientes, oleaje y a la sedimentación. Están mayoritariamente representados por especies pioneras, como *Agaricia agaricites* y el hidrocoral llamado coral fuego *Millepora complanata*, este último el más representativo de este tipo de fondos rocosos.

Algas

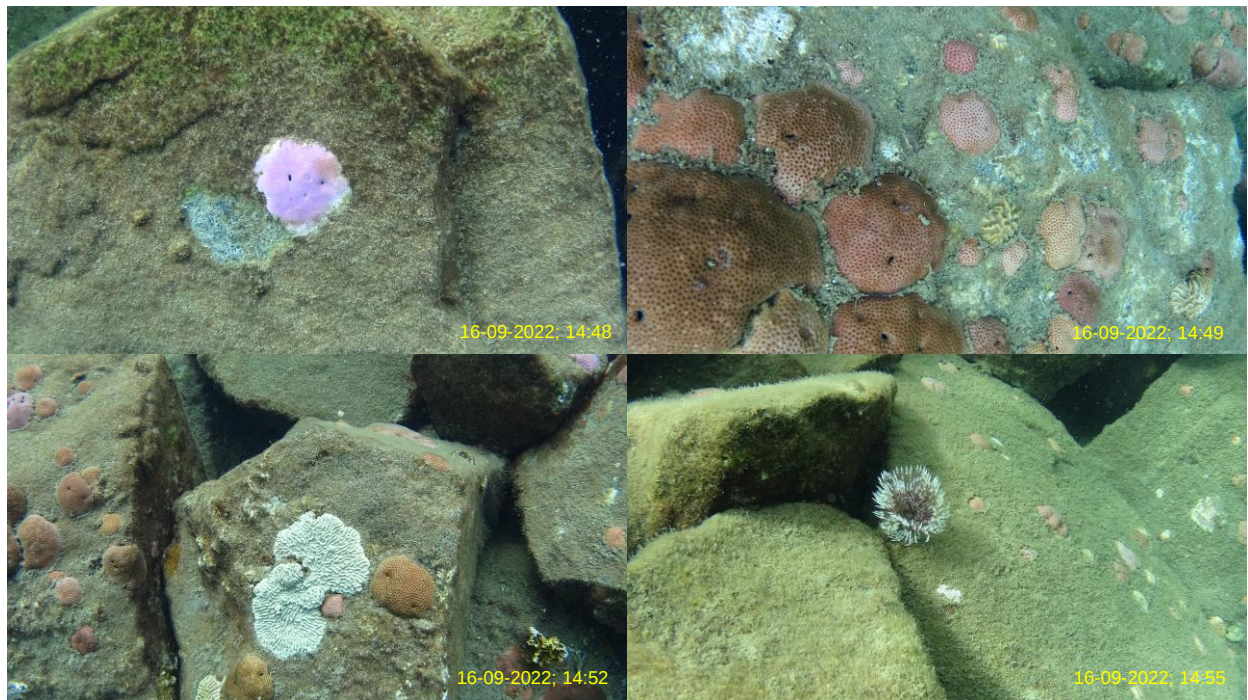
No se registraron algas o formas coralinas presentes en este tipo de estructuras en ninguno de los transeptos.

Esponjas

Las esponjas tampoco fueron las más prosperas en cuanto a crecimiento y colonización de esta estructura; solo el transepto RO3 presento una cobertura de 1,5% de la especie *Cliona sp.*, el resto no presentó cobertura alguna.

Desconocidos y otras formas de vida

Entre los “desconocidos y otras formas de vida” se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos como cangrejos, moluscos incrustantes en las rocas como ostiones crustáceos, *Balaunus sp* con muy bajas proporciones. En los sitios de muestreo situados en el interior del rompe olas no se registraron presencia de estos grupos.



Diferentes formaciones de corales en primeras fases de colonización en el rompeolas.



5.2. Estudio de la comunidad de peces

Para el estudio de las comunidades de peces (composición, abundancia y diversidad de especies de peces) en el rompeolas, se siguieron dos tipos de transeptos o secciones principales, uno en la zona externa entre los sitios (RO1, RO2, RO3 y RO7) y otro en la parte interna entre los sitios (RO4, RO5 y RO6). Los resultados obtenidos de composición y densidad estimada (ind/10³ m²) de peces en estos transeptos se resumen en el **Cuadro 20**.

CUADRO 20. DENSIDAD DE PECES EN EL ROMPEOLAS			
FAMILIA	ESPECIE	Externo	Interno
Acanthuridae (cirujanos)	• <i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	10	30
	<i>Acanthurus chirurgus</i> (Bloch, 1787)	5	10
Carangidae (jureles)	<i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)	5	15
Scorpionidae (peces escorpión)	<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)	0	15
Haemulidae (roncador)	<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	0	10
Kyphosidae (chopas)	<i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
Labridae (labridos)	<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)	0	5
	<i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)	0	5
	<i>Halichoeres chierchiae</i>	0	5
	<i>Thalassoma bifasciatum</i> (Bloch, 1791)	5	5
Lutjanidae (pargos)	<i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)	0	20
	<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	0	5
Pomacanthidae (angeles)	<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)	0	10
Pomacentridae (dama)	<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)	0	5
	<i>Chromis cyanea</i> (Poey, 1860)	0	20
	<i>Stegastes diencaeus</i> (Jordan & Rutter, 1897)	0	10
	<i>Stegastes variabilis</i> (Castelnau, 1855)	5	20
	<i>Microspathodon chrysurus</i> (Cuvier, 1830)	0	15
Scaridae (loros)	<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)	5	5
Sparidae (cabezón)	<i>Archosargus rhomboidalis</i> (Linnaeus, 1758)	5	10
Sphyraenidae (Barracuda)	<i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards in Casteby, 1171)	0	5
Tetraodontidae (tamboril)	<i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)	0	0
Dasyatidae	<i>Hypanus americanus</i> (Hildebrand & Schroeder, 1928)	5	30



De esta forma, para el rompeolas se censó un total de 310 individuos, pertenecientes a 19 especies de peces, incluidos en 18 géneros y 13 familias. De estas especies, 9 fueron observadas asociadas al transepto externo del rompeolas y 22 especies asociadas en la parte interna del mismo. De todos los peces observados únicamente se registra un pez cartilaginoso (*Chondrichthyes*), el resto fueron óseos (*Osteichthyes*). En el **Gráfico 22** se representa la distribución porcentual de las especies, tanto en la parte externa, como interna del rompe olas.

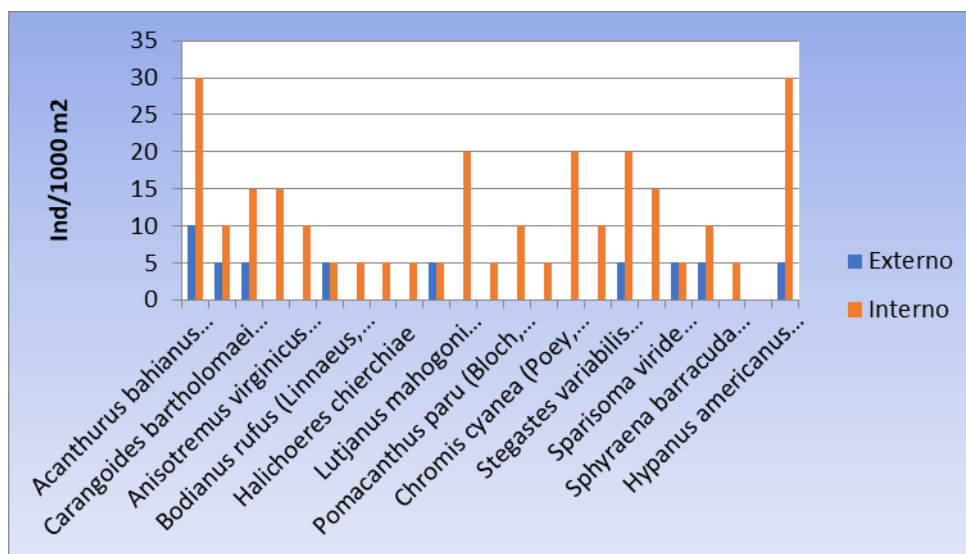


Gráfico 22. Distribución porcentual de las principales especies de peces en los transeptos externos e internos del rompeolas.

Destacan las especies *Acanthurus bahianus*, *Carangoides bartholomei*, *Kyphosus sectatrix* (Linnaeus, 1758), *Stegastes variabilis* (Castelnau, 1855), *Sparisoma viride* (Bonnaterre, 1788) y *Archosargus rhomboidalis* (Linnaeus, 1758), todas con porcentajes mayores en la zona interna del rompeolas.

Para medir la diversidad de las especies de peces en los sitios muestreados, se utilizó principalmente el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver, así como otros índices que dan una idea de la estructura de la comunidad. El índice Shannon-Weaver expresa la abundancia relativa con que cada especie contribuye en la comunidad. En el **Cuadro 21** se resumen estos índices.

CUADRO 21. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS COMUNIDADES DE PECES EN EL ROMPEOLAS						
ESTACIONES	TRANSEPTO	Diversidad Shannon (H')	Dominancia (D)	Simpson (1-D)	Margalef	Equitabilidad (J)
Externas	RO1, RO2, RO3 y RO7	2,24	0,10	0,90	2,05	1,02
Internas	RO4, RO5 y RO6	2,94	0,06	0,94	3,78	0,95



Durante este monitoreo se ha observado una clara diferencia entre la zona externa e interna del rompeolas. Se destaca la mayor riqueza, densidad y diversidad de especies en la parte interna respecto a la externa, indicativo de una comunidad íctica mejor estructurada y más diversa en los transeptos del interior del rompeolas y no expuestos a mar abierto. La comunidad de peces en el interior del rompeolas se puede considerar de gran valor ambiental, con especies y densidades propias de aguas litorales del Caribe.

Los peces registrados muestran una diversidad y composición similar en todos los sitios de estudio, por lo que se puede inferir que las condiciones actuales de los fondos profundos, someros y rompeolas favorecen el establecimiento de la comunidad ictiológica presente en estos sitios, donde desempeñan un rol ecológico fundamental en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. Adicional a esto, de las especies observadas, se puede indicar que coinciden con lo observado en diversas latitudes del Caribe, donde la mayor cantidad y diversidad de individuos de menor tamaño, se encuentran en las áreas costeras poco profundas, por ser estas zonas de crecimiento y desarrollo de dichas especies.

Se destaca el aporte significativo -desde el punto de vista ecológico- que representa el rompeolas, al permitir el establecimiento y hábitat agregador de las diferentes especies de peces que utilizan este sitio como zonas de refugio, alimentación y reproducción como parte de su ciclo de vida. Esta colonización está ligada a la que se ha observado en las comunidades del bentos duro en las piedras del rompeolas, con una clara colonización en las zonas expuestas y más superficiales.



La parte interna del rompeolas está teniendo una fuerte colonización por diferentes grupos de peces que aumentan su biodiversidad.

6. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ICTIOPLANCTON EN EL INTAKE

Durante el monitoreo del mes de septiembre de 2022, se ha completado un estudio del ictioplancton que entra en el intake de la central térmica de Punta Rincón, situada en el puerto interior. El estudio se ha centrado en la composición y abundancia de huevos y larvas de peces. Desde el punto de vista metodológico, con una bomba sumergible se bombeó durante dos muestreos (IN-1 e IN-2) durante 10 min un volumen conocido de agua a través de una red tipo bongo de 500 micras.



Realización de muestreos con bomba en el intake para el estudio del ictioplancton.

Para el cálculo del volumen filtrado, se empleó la siguiente fórmula:

$$VF (m^3) = \text{Caudal bomba (m}^3/\text{s)} \times \text{tiempo bombeo (s)}$$

Los resultados obtenidos se incluyen en el **Cuadro 22**.

CUADRO 22. DENSIDAD DE HUEVOS Y LARVAS DE PEHB-CES EN EL INTAKE			
CÓDIGO MUESTRA	HUEVOS Ind/m ³	LARVAS Ind/m ³	COMPOSICIÓN DE PRINCIPALES ESPECIES EN LAS LARVAS
IN-1	32	19	<i>Acanthurus bahianus</i> (10,5%), <i>Carangoides bartolomaei</i> (26,3%), <i>Lutjanus synagris</i> y <i>Anisotremus virginicus</i> (<10%).
IN-2	41	13	<i>Acanthurus bahianus</i> (53,8%), <i>Carangoides bartolomaei</i> (15,4%), <i>Anisotremus virginicus</i> , <i>Acanthurus chirurgus</i> y <i>Pomacanthus paru</i> (<10%).

En el **Gráfico 23** se incluye la representación porcentual de las diferentes especies del ictioplancton (larvas) registradas en cada muestra.

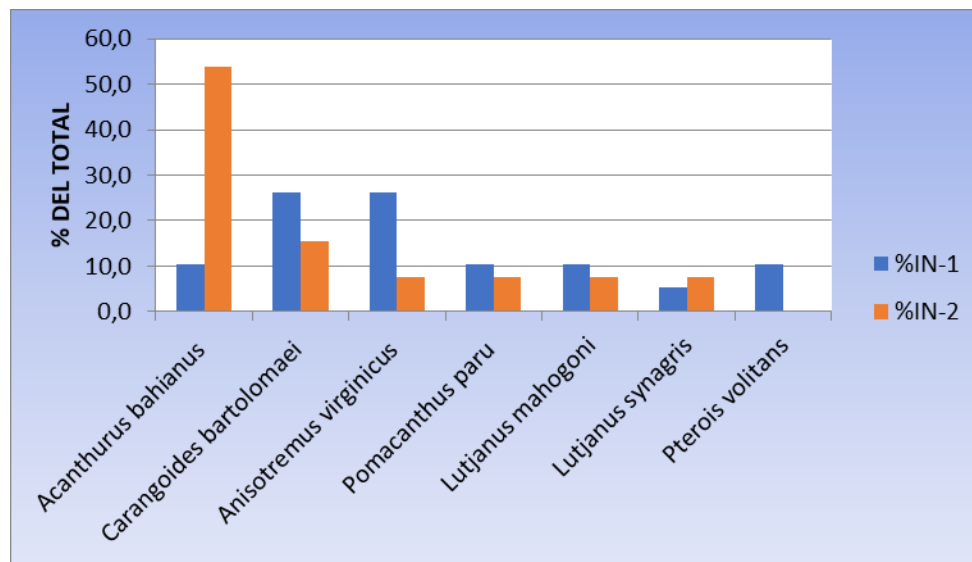


Gráfico 23. Representación porcentual (%) de cada especie del ictioplancton (larvas) en las muestras recolectadas en el intake.

Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces fue relativamente bajo (13-19 ind/m³ para larvas y 32-41 ind/m³ para huevos), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que son del orden de 50-100 ind/m³ para huevos y de 30-50 ind/m³ para larvas en el Caribe.

Por su parte, la composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros. Destacan las larvas de dos especies *Acanthurus bahianus* y *Carangoides bartolomaei*, de bajo valor pesquero y comercial en la zona y que representa porcentajes que llegan al 53%. El resto de larvas se corresponden con especies también presentes en la zona, aunque con porcentajes muy bajos e inferiores al 10%. Son especies muy comunes en las zonas tropicales y el Caribe, con un bajo valor pesquero y económico, no siendo objeto de explotación pesquera por las comunidades locales. En otros estudios similares, como el realizado por Cubillos (2015)⁴ en dónde se evaluó el impacto potencial de la mortalidad por succión de huevos de sardina común y anchoveta, debido a la operación del Penco- 3/h, con un promedio anual de 43,82 huevos/m³ y 9,08 larvas/m³ succionados. Al aplicar el modelo, y suponiendo el 100 % de biomasa perdida, la magnitud promedio de la biomasa pérdida huevo-equivalente en un año fluctuó entre 22,2 y 29,95 toneladas de anchoveta, valores equivalentes en biomasa total por año de 266,46 y 359,38 toneladas de anchoveta. En este trabajo se concluyó que las cantidades removidas por efecto de la operación del proyecto, resultan ser insignificantes. En el caso de la toma en Punta Rincón, al ser menores las densidades de larvas y huevos captados por el intake, al mismo tiempo que el volumen de agua que se capta, el impacto sobre estos componentes de la biocenosis íctica también resulta ser insignificantes.

4 Luis Cubillos, 2015. Estimación del impacto del arrastre de huevos y larvas de sardina común y anchoveta por succión sobre el rendimiento pesquero huevo-equivalente. Proyecto terminal GNL Penco-Lirquén.



7. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES

Se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas marino-costeros a partir de la integración de diferentes índices de calidad.

Los indicadores empleados se recogen en el **Cuadro 23**.

CUADRO 23. INDICADORES AMBIENTALES SELECCIONADOS PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS				
SUBCOMPONENTE DEL PROGRAMA	INDICADOR	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	FRECUENCIA DE INFORMES	PERIODO DE TOMA DE DATOS
Flora y Fauna	Densidad y riqueza de especies del bentos marino	Bianual	Bianual	Marzo y noviembre
	Índice de diversidad del bentos marino	Bianual	Bianual	Marzo y noviembre
	Densidad y riqueza de especies de peces	Bianual	Bianual	Marzo y noviembre
Criterios Físico y Químicos	pH, temperatura, conductividad específica, Oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura, metales disueltos, nutrientes en agua y metales en sedimentos	Anual	Anual	Noviembre
	Índice mg de elemento / Kg de tejido en peces, donde el elemento de interés son los metales pesados	Anual	Anual	Noviembre



Dado que los resultados obtenidos para cada elemento y variable estudiada están ampliamente desarrollados en los distintos apartados del estudio, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y línea de base del año 2015⁵.

La simbología y significado empleado para valorar la tendencia de cada grupo de indicadores ambientales se recoge en el **Cuadro 24**.

CUADRO 24. SÍMBOLOS EMPLEADOS PARA INDICAR LA TENDENCIA DE LOS INDICADORES	
SIMBOLOGÍA	INTERPRETACIÓN DE LA TENDENCIA
↑	El valor del indicador tiende a subir, las condiciones mejoran
→	Se mantiene el valor del indicador, las condiciones no varían
↓	El valor del indicador tiende a bajar, las condiciones empeoran

La comparación en la tendencia de los indicadores para los diferentes años de monitoreo se resume en el **Cuadro 25**.

Teniendo en cuenta el análisis realizado, se puede señalar que la tendencia de los cinco indicadores comparados entre la línea base de los años 2015, 2016, 2017, 2018-1S, 2018-2S, 2019-1S, 2019-2S, 2020, 2021-1S, 2021-2S, 2022-1S y 2022-2S en los dos semestres indican variaciones poco significativas entre los mismos.

Las pequeñas variaciones registradas entre los dos monitoreos están más relacionadas con el sesgo asociado a este tipo de muestreo (errores aleatorios y sistemáticos relacionados con las técnicas de muestreo, época de estudio y condiciones ambientales y oceanográficas) que con los posibles efectos derivados de la operación del puerto y de la mina.

En conclusión, las condiciones generales analizadas han variado de forma muy poco significativa, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) asociados con las actividades de operación de la mina y el puerto.

⁵ La comparación entre los valores brutos obtenidos de cada indicador puede dar lugar a errores debidos a las variaciones en las metodologías empleadas y cambios en las condiciones de los muestreos.



CUADRO 25. EVOLUCIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EN EL PERÍODO 2015-2022

INDICADORES	AÑO DE MONITOREO	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-CE	HB-T1	HB-T2
INDICADOR 1 (Densidad y riqueza del bentos marino)	2015	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2016	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2017	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2018 1 y 2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019 1 y 2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2020-1	↑	↑	↑	↑	↑	↑	→	→
	2021-1	→	→	→	→	→	→	→	→
	2021-2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2022-1	↑	↑	↑	→	↑	↑	↑	↑
	2022-2	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 2 (Indíces diversidad del bentos marino)	2015	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2016	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2017	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2018 1 y 2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019 1 y 2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2020-1	↑	↑	↑	↑	↑	↑	→	→
	2021-1	→	→	→	→	→	→	→	→
	2021-2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2022-1	→	→	→	→	→	→	→	→
	2022-2	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 3 (Densidad y riqueza de peces)	2015	→	→	→	→	→	(1)	(2)	(2)
	2016	→	→	→	→	→	(1)	(2)	(2)
	2017	→	→	→	→	→	(1)	(2)	(2)
	2018 1 y 2	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2019 1 y 2	→	→	→	→	→	(1)	→	→



CUADRO 25. EVOLUCIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EN EL PERÍODO 2015-2022									
INDICADORES	AÑO DE MONITOREO	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-CE	HB-T1	HB-T2
	2020-1	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2021-1	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2021-2	→	→	→	→	→	(1)	→	→
INDICADOR 3 (Densidad y riqueza de peces)	2022-1	→	→	→	→	→	(1)	↓	→
	2022-2	→	→	→	→	→	(1)	→	→

NOTAS: (1). En este sitio de muestreo no se realizan estudios de peces. (2) En estos años no se realizaron monitoreos en HB-T1 y HB-T2.

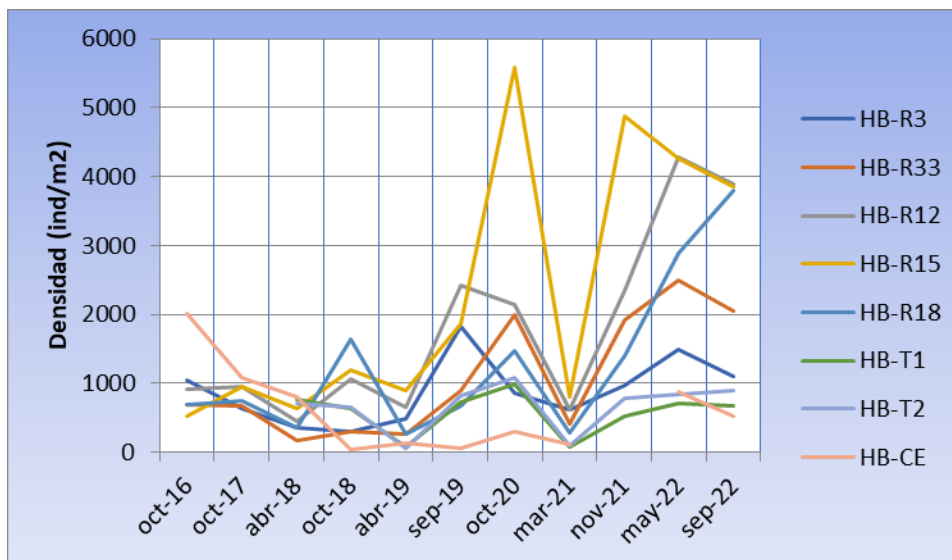


Gráfico 24. Evolución del indicador densidad del bentos (ind/m²) en los años de monitoreo.

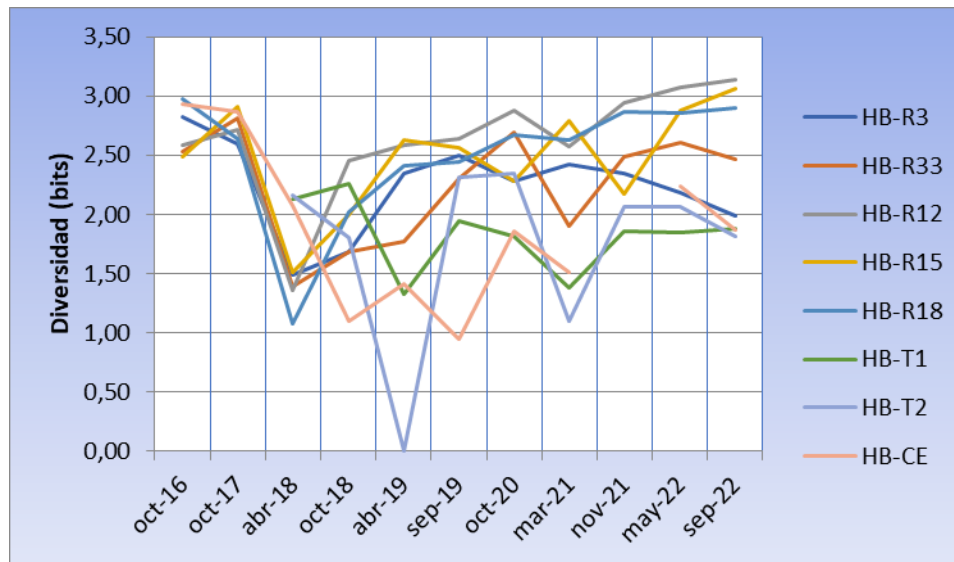


Gráfico 25. Evolución del indicador diversidad del bentos (bits) en los años de monitoreo.

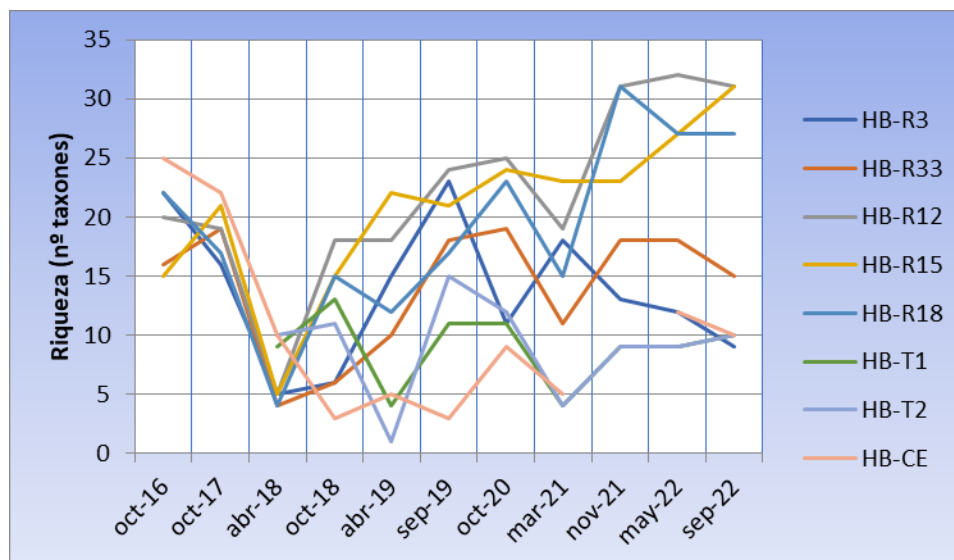


Gráfico 26. Evolución del indicador riqueza del bentos (número de taxones) en los años de monitoreo.

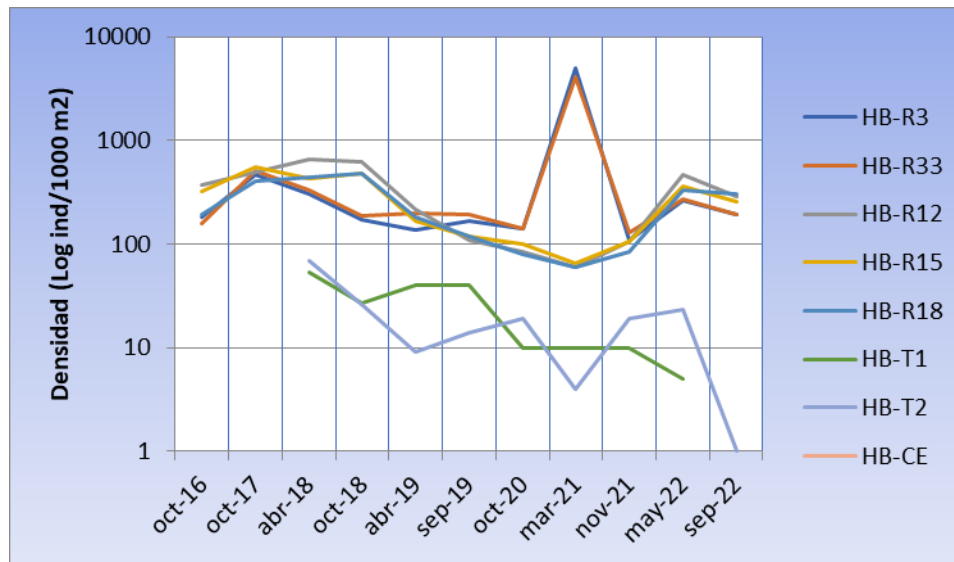


Gráfico 27. Evolución del indicador densidad de peces (en log individuos/1000 m²) en los años de monitoreo.

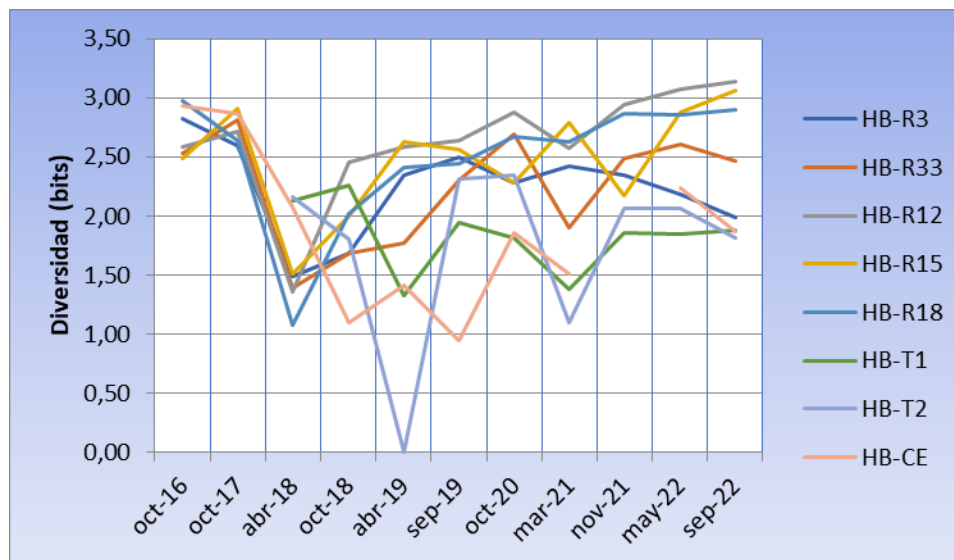


Gráfico 28. Evolución del indicador diversidad de peces (bits) en los años de monitoreo.

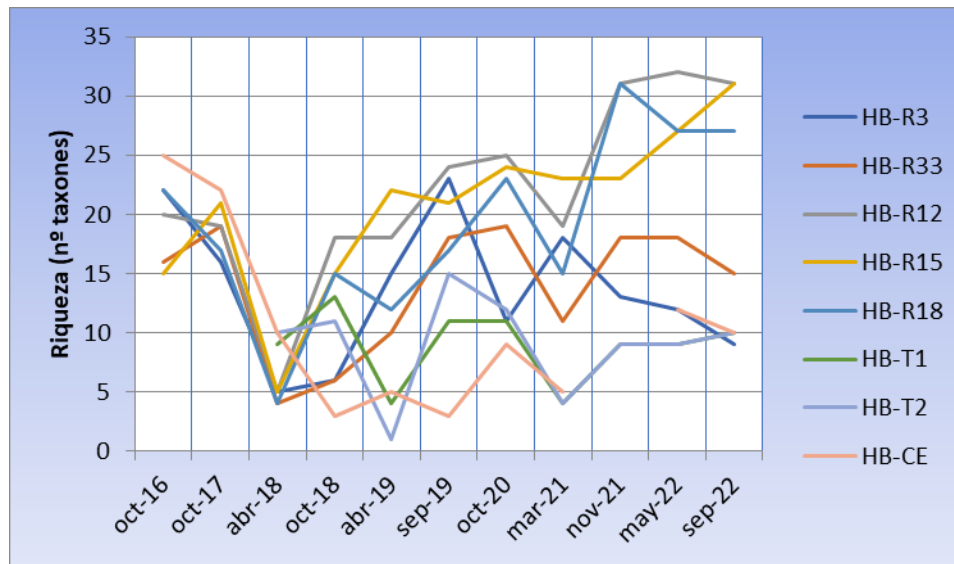


Gráfico 26. Evolución del indicador riqueza de peces (número de taxones) en los años de monitoreo.



8. ESTADO ECOLÓGICO

8.1. Justificación

El concepto de estado ecológico difiere sensiblemente del concepto de calidad del agua que se ha venido utilizando tradicionalmente, ya que mientras la calidad del agua expresa la mayor o menor potencialidad o aptitud del agua para dedicarla a un uso determinado (bebida, baño, riego, etc.), el estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas asociados a las aguas marinas (DMA, 2000).

Para evaluar el estado ecológico de un agua marina se emplean los elementos físico-químicos y biológicos, que en su conjunto describen cómo se comporta el ecosistema acuático frente a posibles impactos y si se han producido cambios en su estructura o funcionamiento como consecuencia de los mismos. A su vez, cada uno de estos elementos viene representado por uno o varios índices de calidad.

A diferencia de los análisis basados en cambios estructurales de las comunidades biológicas (número de especies, diversidad, etc) o de la concentración de determinados compuestos químicos, para evaluar posibles alteraciones en la calidad del agua, los índices de calidad se basan en el empleo de organismos o características del medio en el que habitan y, especialmente, en su sensibilidad a determinados efectos ambientales visibles macroscópicamente o microscópicamente. Proporcionan una información semi-cuantitativa sobre la contaminación de los ecosistemas acuático y permiten evaluar directamente el impacto ambiental de las actividades humanas.

8.2. Metodología

8.2.1. Valoración del estado de calidad biológico

Para evaluar la calidad biológica del medio marino, se ha seleccionado el grupo del bentos marino y, para este grupo, se ha utilizado el programa AMBI (versión 6.0) que calcula el BC o Índice Biótico Marino de Azti. Este índice, desarrollado en el año 2000 por el Centro Tecnológico [AZTI-Tecnalia](#), y que ya ha tenido varias actualizaciones, está basado en paradigmas ecológicos que permiten establecer la calidad ecológica de las costas y estuarios a través de la asignación de las especies de los fondos marinos a uno de los cinco grupos ecológicos.

Incorpora un análisis multi-variante (M-AMBI) para el cálculo del estado ecológico en el medio marino para el índice IB. Estas herramientas exploran la respuesta de las comunidades del bentos a los cambios naturales y humanos en la calidad del agua, integrando condiciones medioambientales a largo plazo. Además de calcular el BC e IB, este programa representa gráficamente los datos y exporta los resultados. AMBI incluye más de 6.500 taxa representativos de las comunidades más importantes presentes en los estuarios y sistemas costeros de Europa, desde el Mar del Norte al Mediterráneo, e incluso de Norteamérica, Centroamérica, Sudamérica y sudeste asiático.



Esta clasificación se basa en la sensibilidad del bentos marino a un gradiente creciente de estrés, dividiendo a los organismos en cinco grupos:

- Grupo I: Especies muy sensibles al enriquecimiento orgánico y que se encuentran presentes en condiciones de ausencia de contaminación. Incluyen especies carnívoras especialistas y algunos Poliquetos tubícolas detritívoros (estado ecológico inicial).
- Grupo II: Especies a las que no les afecta en gran medida el enriquecimiento orgánico, siempre están presentes en bajas densidades sin variaciones significativas en el tiempo (desde el estado inicial a levemente desequilibrado).
- Grupo III: Especies tolerantes al exceso de materia orgánica. Estas especies pueden aparecer en condiciones normales, pero sus poblaciones aumentan con el enriquecimiento orgánico (circunstancias ambientales levemente desequilibradas). En estos ambientes abundan las especies detritívoras y Poliquetos de la familia Spionidae.
- Grupo IV: Especies oportunistas de segundo orden que aparecen en ambientes con episodios de contaminación importantes. Principalmente son Poliquetos de pequeño tamaño y depositívoros subsuperficiales como los Cirratúlidos.
- Grupo V: En áreas con pronunciados desequilibrios, contaminación elevada, suelen encontrarse especies oportunistas de segundo orden. Organismos detritívoros, que proliferan en sedimentos reducidos.

La distribución de los individuos clasificados, de acuerdo a su tolerancia al grado de contaminación (grupos ecológicos), permite calcular el índice BI con ocho niveles, de 0 a 7. Para establecer los límites de estos ocho niveles, se utiliza un coeficiente biótico BC basado en los porcentajes de cada uno de los cinco grupos ecológicos definidos anteriormente, aplicando la siguiente fórmula:

$$BC = \frac{\{(0 \cdot \% GI) + (1.5 \cdot \% GII) + (3 \cdot \% GIII) + (4.5 \cdot \% GIV) + (6 \cdot \% GV)\}}{100}$$

Este coeficiente calcula un resultado continuo con valores comprendidos entre 0 y 6. Los intervalos establecidos según BORJA et al. (2000) para delimitar el valor continuo que resulta del cálculo del coeficiente biótico (BC) que constituye el índice AMBI se resumen en el **Cuadro 26** adjunto.



CUADRO 26. SIGNIFICADO DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y ECOLÓGICA BC Y BI (Borja et al, 2000)

GRADO DE CONTAMINACIÓN	COEFICIENTE BIÓTICO (BC)	ÍNDICE BIÓTICO (BI)	GRUPO ECOLÓGICO DOMINANTE	ESTADO DE LA COMUNIDAD BENTÓNICA
No contaminado	$0,0 < BC \leq 0,02$	0	I	Normal
No contaminado	$0,2 < BC \leq 1,2$	1		Empobrecida
Ligeramente contaminado	$1,2 < BC \leq 3,3$	2	III	Desequilibrada
Medianamente contaminado	$3,3 < BC \leq 4,5$	3		Estado de transición hacia contaminada
Medianamente contaminado	$4,5 < BC \leq 5,0$	4	IV-V	Contaminada
Fuertemente contaminado	$5,0 < BC \leq 5,5$	5		Estado de transición hacia muy contaminada
Fuertemente contaminado	$5,5 < BC \leq 6,0$	6	V	Muy contaminada
Extremadamente contaminado	Azoico	7	Azoico	Azoico

8.2.2. Valoración del estado de calidad fisico-químico del agua y sedimento

Para valorar el estado de calidad de los parámetros físico-químicos en aguas y sedimento marinos se han comparado los resultados obtenidos en los diferentes parámetros de calidad de aguas con los límites legales que establece la normativa vigente en Panamá (Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008):

Cumple con los límites legales: ESTADO BUENO
No Cumple con los límites legales: ESTADO MALO

Con objeto de estudiar el grado de contaminación de los sedimentos (metales pesados) se ha empleado el protocolo del Consejo Canadiense de los Ministerios del Ambiente (CCME). Así, se ha valorado el estado de calidad por comparación con los valores de referencia anteriores, al no existir en Panamá límites para metales pesados en sedimentos en aguas marinas.

Cumple con los valores de referencia canadiense: ESTADO BUENO
No Cumple con los valores de referencia canadiense: ESTADO MALO

El estado de calidad MUY BUENO se alcanzaría solamente si los valores obtenidos para esas variables se encuentran por debajo de las concentraciones consideradas como fondo para aguas y sedimentos de zonas marinas similares.



8.2.3. Valoración del estado ecológico marino-costero

Una vez calculados los estados de calidad a partir de los elementos biológicos (bentos) y físico-químicos (agua y sedimento), para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los sitios de muestreo con todos los elementos en conjunto, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología original propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico y adaptada en una Guía recientemente en España por el MITECO (2021).

De acuerdo con esta metodología, las aguas marino-costeras se clasifican en cinco clases en función de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores biológicos y físico-químicos: muy bueno, bueno, moderado-aceptable, deficiente y malo. Para la clasificación del estado ecológico se parte, en principio, de los indicadores biológicos, apoyándose después tanto en las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos (ver **Figura 1**). En este caso, no se aplican los indicadores hidromorfológicos.

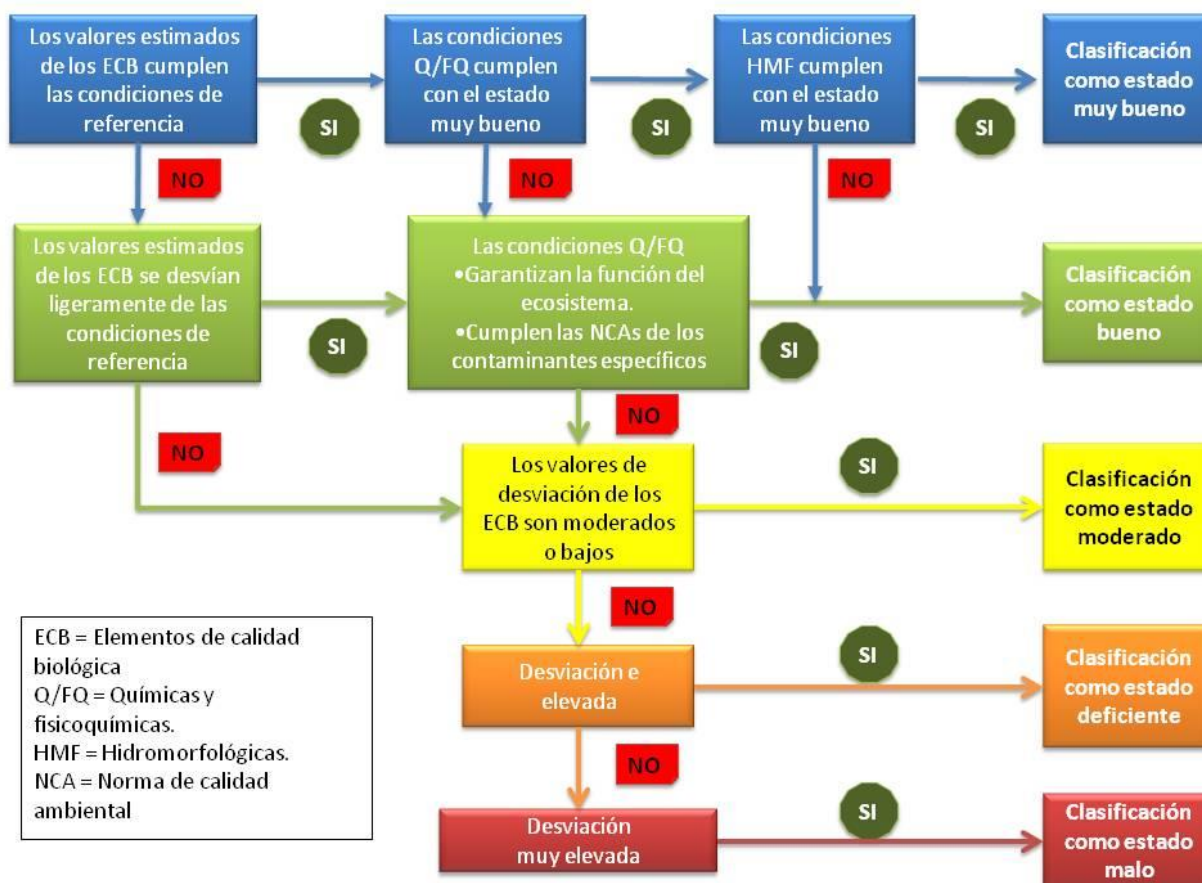


Figura 1. Metodología propuesta por el Grupo de Trabajo 2A de la Unión Europea en el Documento Guía número 13 sobre la clasificación del estado ecológico y adaptada por el MITECO (2021).



Para las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos, se ha empleado como criterio el grado de cumplimiento de las normas de calidad que se han considerado⁶. Es decir, si se cumple el valor de referencia para el contaminante específico, la calidad es BUENA y garantizan la función del ecosistema, en caso contrario la calidad es MALA y no garantiza la funcionalidad del ecosistema.

En el apartado biológico, se completó el estado ecológico (EE) final con datos de bentos marino al ser los más representativos e integradores de los posible efectos de la mina y el puerto. Sin embargo, cuando el estado ecológico se estima (mediante indicadores biológicos) como bueno o muy bueno, las condiciones físico-químicas entran en juego, pudiendo bajar la clasificación del estado ecológico a los niveles inferiores de bueno o moderado.

De forma individual para cada elemento de calidad, se ha seguido en la valoración el modelo más restrictivo. Es decir, se escoge de cada elemento como indicador o índice, de entre todos, aquel cuyo resultado ha sido la estima menos favorable en cada ocasión, según el principio “uno fuera, todos fuera”: Se ha denominado a este estado ecológico “restrictivo” como EE_{rest} , de tal manera que:

$$EE_{rest} = \text{Mínimo } (EE_{biol})$$

En resumen, para la clasificación del estado ecológico del medio marino-costero se han utilizado los siguientes elementos de calidad (QEs) y sus correspondientes índices de calidad:

- - QEs FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA Y SEDIMENTOS MARINOS
 - Calidad FQ. Físico-química del agua: temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez.
 - Calidad QA: Química del agua: sólidos en suspensión y metales pesados
 - Calidad QS. Química del sedimento: metales pesados.
 - QEs BIOLÓGICOS
 - Calidad BB. Composición y abundancia del bentos marino. Índices BI y AMBI.

8.3. Resultados. Valoración del estado ecológico marino-costero

8.3.1. Resultados del índice AMBI

Los resultados obtenidos por aplicación de los índices que calcula AMBI a los diferentes sitios de muestreo, considerando el bentos marino, se resumen en el **Cuadro 27**.

⁶ Agua: Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008. Sedimentos: Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME). ”.



CUADRO 27. RESULTADOS DEL ÍNDICE AMBI Y ESTADO DE CALIDAD BIOLÓGICO

SITIO DE MUESTREO	ÍNDICE AMBI	INDICE BIOTICO (BI)	SIGNIFICADO	ESTADO DE CALIDAD BIOLÓGICO
HB-R3	0,80	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-R33	0,97	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-R12	0,79	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-R15	0,70	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-R18	0,92	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-T1	1,50	2	Ligeramente alterado	BUENO
HB-T2	0,63	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-CE	0,42	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-E10	0,90	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-E4	0,91	1	No Alterado	MUY BUENO

Las comunidades del bentos estudiadas indican, a través de las especies sensibles que las forman, unas MUY BUENAS condiciones del medio marino, con valores de los índices que determina AMBI propios de sistemas no alterados. La estación HB-T1 se ha clasificado como ligeramente alterada por causas naturales y/o cambios estructurales asociados con la época del muestreo y estado de las poblaciones, pero con un estado de calidad de tipo BUENO.

Por consiguiente, las comunidades del bentos de fondos blandos carecen de efectos debidos a contaminación por aportes procedentes de la operación en la mina y puerto, con especies características de estados no contaminados o alterdos y que presentan una organización estructural evolutiva propia de los ecosistemas en los que se desarrollan.

8.3.2. Resultados del estado físico-químico del agua y sedimento

Los resultados obtenidos con el fin de valorar el estado físico-químico del agua y sedimentos en los diferentes sitios de muestreo se resumen en el **Cuadro 28**.

CUADRO 28. RESULTADOS DEL ESTADO DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA Y SEDIMENTOS

SITIO DE MUESTREO	GRADO DE CUMPLIMIENTO	GRADO DE CUMPLIMIENTO	ESTADO QUÍMICO SEDIMENTO	ESTADO FÍSICO-QUÍMICO AGUA
HB-R3	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-R33	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-R12	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-R15	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-R18	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-T1	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA



CUADRO 28. RESULTADOS DEL ESTADO DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA Y SEDIMENTOS

SITIO DE MUESTREO	GRADO DE CUMPLIMIENTO	GRADO DE CUMPLIMIENTO	ESTADO QUÍMICO SEDIMENTO	ESTADO FÍSICO-QUÍMICO AGUA
HB-T2	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-CE	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-E10	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-E4	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA

Como se puede observar, los parámetros analizados cumplen con los límites legales establecidos en la legislación de referencia, con un estado de calidad valorado como BUENO.

8.3.3. Valoración final del estado ecológico del medio marino-costero

En el **Cuadro 29** se sintetizan los resultados de la valoración de los indicadores empleados y del estado ecológico final para cada sitio de muestreo. En resumen, todos los sitios se han clasificado con un ESTADO ECOLÓGICO MUY BUENO, excepto HB-T1 con BUENO.

CUADRO 29. VALORACIÓN FINAL DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS SITIOS DE MUESTREO

CODIGO SITIO MUESTREO	CALIDAD FQ	CALIDAD QA	CALIDAD QS	CALIDAD BB	ESTADO ECOLÓGICO FINAL
HB-R3	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-R33	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-R12	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-R15	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-R18	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-T1	BUENA	BUENA	BUENA	BUENO	BUENO
HB-T2	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-CE	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-E10	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-E4	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO

NOTAS. CALIDAD F-Q: calidad físico-química del agua; CALIDAD QA: calidad química del agua; CALIDAD QS: calidad química del sedimento; CALIDAD BB: calidad biológica del bentos marino.



9. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas en el monitoreo de los ecosistemas marino-costeros completado los días 15 al 18 de septiembre de 2022 en la zona de Punta Rincón en el Proyecto Mina de Cobre Panamá, se resumen en los siguientes puntos:

Agua de mar

- Las medidas de parámetros físico-químicos del agua marina, indican unas condiciones propias del mar Caribe para la época, con moderada a alta concentración de oxígeno disuelto y conductividades y pH propias de agua de mar. La turbidez del agua ha sido muy baja, destacándose que en ningún sitio de monitoreo se incumple el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008, lo que indica para estos parámetros ausencia de contaminación.
- Todos los metales pesados analizados en agua cumplen con los límites de calidad recogidos en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.

Composición del sedimento

- La composición granulométrica del sedimento es relativamente homogénea entre los diferentes sitios. En los fondos blandos, predominan las arenas finas a medias (sobre el 80-90%), sin diferencias significativas entre las muestras.
- No se aprecia en el sedimento efectos asociados con la operación del puerto o de las actividades de la Mina, debido al escaso porcentaje de limos o arcillas presentes en los de los sitios someros (más próximos a la costa y potencialmente influenciados) y los más profundos.

Metales en sedimentos

- Las concentraciones de COT registradas en sedimentos son muy bajas y del orden de 0,08-0,4 %. El cianuro total se mantiene próximo o por debajo del límite de detección (LD). Los Hidrocarburos Totales de Petróleo y MEH aparecen con concentración por debajo de los LD de los métodos analíticos empleados, lo que indica una concentración muy baja y no detectable y nula contaminación por estos compuestos.
- Los resultados de metales pesados muestran que las concentraciones de cadmio, cromo, plomo y zinc han sido muy bajas y por debajo del valor guía de la norma canadiense utilizada como referencia, con escasos o nulos efectos en la biota marina. Por su parte, con excepción de los sitios HB-R3, HB-R33, HB-R15 y HB-R18, el cobre ha superado el valor guía (18,7 mg/kg), sin llegar a alcanzar el valor de referencia más alto (108 mg/kg).



Metales pesados en peces

- Las concentraciones de metales pesados en tejidos del pez león han sido relativamente bajas en todos los sitios de muestreo. Teniendo en cuenta normas de referencia europeas, se cumple con el límite para plomo (0,2-0,4 mg/kg), cadmio (0,05-0,1 mg/kg) y mercurio (0,5-1,0 mg/kg), por lo que se concluye que no hay contaminación por estos metales. Para el resto de metales pesados no se cuenta con valores legales de referencia.

Comunidades de fondos duros

- Los porcentajes de cobertura y parámetros estructurales (diversidad, número de taxones, etc) de las diferentes comunidades biológicas (corales, esponjas, etc) de los hábitats de fondos duros, son semejantes a los registrados en años anteriores y sin cambios destacables con respecto al monitoreo considerado como línea base.
- Se concluye que no se ha observado cambios estructurales en la comunidad de fondos duros, manteniendo una biodiversidad propia de este tipo de fondos para las aguas costeras del Caribe.

Comunidades de fondos blandos

- Los sitios HB-R12 y HB-R15 presentaron las mayores densidades, con 3.887 ind/m² y 3.846 ind/m² respectivamente, seguido de las estaciones HB-R18 con 3.790 ind/m² y HB-R33 con 2.058 ind/m². Las de menor abundancia fueron HB-CE con 534 ind/m² y HB-T1 con 674 ind/m². Los moluscos dominan claramente la comunidad en todos los sitios de monitoreo, seguido de los anélidos poliquetos.
- Las comunidades del bentos de fondos blandos carecen de efectos debidos a contaminación por aportes procedentes de la operación en la mina y puerto, con especies características de estados no contaminados y que presentan una organización estructural evolutiva propia de los ecosistemas en los que se desarrollan.

Comunidades de peces

- Para los fondos duros profundos evaluados se censó un total de 385 individuos/1000 m² entre HB-R3 y HB-R33, pertenecientes a 23 especies de peces, incluidas en 19 géneros y 15 familias. Todos los peces observados fueron óseos (Osteichthyes). Las especies más abundantes fueron *Caranx latus* (10-15%) *Acanthurus bahianus* (5-10%), *Lutjanus cyanopterus* (5-10%) y *Lutjanus synagris* (2-15%).
- En los fondos duros someros, se registraron un total de 846 individuos/1000 m² pertenecientes a 33 especies de seguimiento, distribuidas en 25 géneros y 16 familias. El número de taxones registrados fue similar en los sitios HB-R12, HB-R15 y HB-R18 (25, 27 y 24). Todos los peces observados fueron óseos (Osteichthyes). Las especies más abundantes en los fondos someros (HB-R12-HB-R15-HB-R18) fueron *Acanthurus*



bahianus (3-11-6%), *Carangoides bartholomaei* (6-7-35%) y *Kyphosus sectatrix* (10-7-3%), con claras diferencias con respecto a la zona profunda.

- Solo en el sitio HB-T2 se registró un individuo de *Bodianus rufus*, debido a que no reúne hábitats apropiados para la fauna íctica al no contar con sustratos y refugios adecuados y presentar una fuerte corriente. Asimismo, en este monitoreo no se ha registrado ningún individuo de tamborín en estos sitios.

Estudio específico del pez león

- La abundancia relativa de esta especie invasora fue de 1-5% para el fondo somero y de 5% para el fondo profundo, con una mayor presencia en los fondos duros asociados con rocas y presencia de corales y refugios.

Estudio del rompeolas

- Se ha registrado una progresiva colonización por grupos biológicos de las rocas del rompeolas en su parte interna que parece se va afianzando con el tiempo, con la presencia de corales y primeras formas de esponjas.
- Se aprecia una clara diferencia entre los valores de abundancia (densidad) y los índices de diversidad de la comunidad de peces de la parte externa con respecto a la interna, con una comunidad mejor estructurada y más diversa en los transeptos no expuestos a mar abierto y situados en el interior del rompeolas.
-
- Los resultados obtenidos -al igual que los registrados en años anteriores-, indican que el rompeolas sirve como hábitat para las diferentes comunidades biológicas, contribuyendo a que aparezca en la zona del puerto una mayor riqueza y abundancia de especies bentónicas y pelágicas litorales.

Estudio de larvas y huevos de peces en el intake

- Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces fue relativamente bajo (13-19 ind/m³ para larvas y 32-41 ind/m³ para huevos), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que son del orden de 50-100 ind/m³ para huevos y de 30-50 ind/m³ para larvas en el Caribe.
- Por consiguiente, el intake tiene un muy bajo efecto ambiental sobre la captura accidental de peces y huevos de larvas.



Evolución de los indicadores ambientales

- La tendencia de los indicadores biológicos de los años en los que se han completado monitoreos indican variaciones poco significativas, sin cambios en los parámetros estructurales de la biocenosis.
- Se concluye que las condiciones generales analizadas han variado muy poco con respecto a la línea base, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas marino-costeros (bióticos) asociados con las actividades de operación de la mina y el puerto.

Evolución del indicador del estado ecológico

- Las comunidades del bentos estudiadas indican, a través de las especies sensibles que las forman, unas MUY BUENAS a BUENAS condiciones del medio marino,
- Los parámetros físico-químicos analizados en el agua, sedimento y biota cumplen con los límites legales en Panamá o los establecidos en la legislación de referencia, con un estado de calidad valorado como BUENO.
- Se concluye que los sitios presentan un estado ecológico del medio marino clasificado como MUY BUENO, excepto en el sitio HB-T1 como BUENO.

Eficacia de los mecanismos de control

- Teniendo en cuenta las conclusiones obtenidas en los puntos anteriores, se destaca que los mecanismos de control establecidos están siendo efectivos para la protección del medio marino-costero en Punta Rincón.



10. BIBLIOGRAFÍA

PECES

ALLEN, G.R. 1985. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of lutjanid species known to date. FAO Fish Synopsis 6(125): 1-208.

ANAM. 2008. RESOLUCIÓN No. AG-0051-2008 “Por la cual se reglamenta a las especies de fauna y flora amenazadas y en peligro de extinción, y se dictan otras disposiciones”. Gaceta oficial No. 26013 del 7 de abril de 2008.

BOHLKE, J.E. & C.G. CHAPLIN. (2 ed.). 1993. Fishes of the Bahamas and Adjacent Tropical Watersn. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia, University of Texas Press, USA, 771 pp.

BROCK RE. 1982. A critique of the visual *census* method for assessing coral reef fish populations. Bulletin of Marine Science 32(1): 269-276.

BUSSING, W.A. 1987. Peces de las Aguas Continentales de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, 271 p.

BUSSING, W.A. 1998 (2 ed.) Peces de las Aguas Continentales de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. vol. 46, supl. 2: 1-468.

CARPENTER, K.E. (ed.). 2002a. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 2: Bony Fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae). FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO pp 601-1374.

CARPENTER, K.E. (ed.). 2002b. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 3: Bony fishes part 2 (Opistognathidae to molidae), sea turtles and marine mammals. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO p 1375-2127.

HB-CERVIGON, F. 1966. Los Peces Marinos de Venezuela. Tomo I y II. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas. 1-951 pp.

HB-CERVIGON, F. & W. FISCHER. 1979. INFOPESCA: Catálogo de Especies Marinas de Interés Económico Actual o Potencial para América Latina. Parte I- Atlántico Centro y Suroccidental. FAO/UNDP, SIC/79/1, Roma, 372 pp.

HB-CERVIGON, F., R. CIPRIANI, W. FISCHER, L. GARIBALDI, M. HENDRICKX, A.J. LEMUS, R. MARQUEZ, J.M. POUTIERS, G. ROBAINA & B. RODRIGUEZ. 1992. Fichas FAO de identificación de las especies para los fines de la pesca. Guía de Campo de las Especies Comerciales Marinas y de Aguas Salobres de la Costa Septentrional de Sur América. Preparado con el financiamiento de la Comisión de Comunidades Europeas y de NORAD. Roma, FAO, 1992. 513 pp.



CHRISTOPHER R.B., & OLDEN, J.D. 2011. Multi-scale habitat occupancy of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in coral reef environments of Roatan, Honduras. *Aquatic Invasions* 6 (3): 347–353.

COLLETTE, B.B. & C. E. NAUEN. 1983. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species know to date. *FAO Fish Synopsis* 2(125): 1-137.

FISCHER, W. (ed.). 1978. *FAO Identification Sheets for Fishery Purposes: Western Central Atlantic (Fishing Area 31)*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, vol. 1-7: pag. var.

FROESE, R. & D. PAULY. (ed.). 2013. *FishBase*, World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, versión (04/2013).

HEEMSTRA, P.C. & J.E. RANDALL. 1993. Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date. *FAO Fisheries Synopsis* 16(125): 1-382.

HUMANN, P. 1997. (3ra. ed.). *Reef Fish Identification: Florida, Caribbean, Bahamas*. Paramount Miller Graphics Inc., Florida, 396 pp. + app.

JÁCOME, G. 2001. La pesca y el deterioro de los arrecifes en el Caribe y Panamá. Pp. 200-206. En: S. Heckadon-Moreno (Editor). *Panamá: Puente Biológico*. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Panamá, 233 p.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1923. The Marine Fishes of Panama. *Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV* (215): 1-330.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1925. The Marine Fishes of Panama. *Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV* (226): 331-708.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1928. The Marine Fishes of Panama. *Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV* (249): 709-1045.

PERRY, J.A. & S.D. PERRY. 1974. *Los Peces Comunes de la Costa Atlántica de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica, Departamento de Biología, Serie Ciencias naturales No. 7, 225 p.

PLAN DE ACCIÓN DE BIODIVERSIDAD (PAB). Minera Panamá. S.A. Versión 2.0. Junio de 2011. 264 pp.

RANDALL, J.E. 1968. *Caribbean Reef Fishes*. T.F.H. Publications Inc., Neptune City, N.J., 318 pp.

SCHOFIELD, P. 2009. Geographic extent and chronology of the invasion of non-native lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus 1758] and *P. miles* [Bennett 1828]) in the Western North Atlantic and Caribbean Sea. *Aquat Invasions* 4:473–479.



FONDOS DUROS

Calder, D.R. and L. Kirkendale. 2005. Hydroids (Cnidaria, Hydrozoa) from shallow-water environments along the Caribbean coast of Panama. *Caribbean Journal of Science* 41: 476-491.

Collin, R., M. C. Díaz., J. Norenburg., R.M. Rocha, J.A. Sanchez., A. Schulze, M. Schwartz and A. Valdés. 2005. Photographic identification guide to some common marine invertebrates of Bocas del Toro, Panama. *Caribbean Journal of Science*. Vol. 41(3): 367-638. Gingsbur R. 1999. <http://www.agrra.org/updates/metodo.html>.

Humann, P. and N. Delpachach. 2006. Reef Fish Identification – Florida, Caribbean, Bahamas. 3rd Edition. New World Publications, Inc. USA. 480 pp. STRI Bocas Data Base, 2012. (www.stri.org).

Veron, J.E.N. 2000. Corals of the world. Stafford-Smith, M. (ed). Australian Institute of Marine Science. Volumen I. 463 p.

Zea, Sven. 1998. Estado actual del conocimiento en Sistemática de Esponjas Marinas (Poríferas) del Caribe Colombiano. *Boletín Ecotrópica: Ecosistemas Tropicales* N° 33: 45-59.

BENTOS MARINO

Abbott, R. T. 1954. American Shells. D. Van Nostrand company, Inc. 541 pp.

Fauchald, K. 1984. Preface. En *Taxonomic Guide to the Polychaetes of the Northern Gulf of Mexico*. Eds. J. M. Uebelecker & P. G. Johnson. Mobile: Barry A. Vittor and Associates, págs. iv-v.

Ferrero-Vicente, L.M. et al., 2011. Soft-bottom sipunculans from San Pedro del Pinatar (Western Mediterranean): influence of anthropogenic impacts and sediment characteristics on their distribution. *Animal Biodiversity and Conservation*. 34, 101-111.

Garcés, H. 1994. El Bentos Marino. *Scientia Edición Especial*. 111-117.

Gray, J.S. 1981. The ecology of marine sediments. Cambridge University Press. London. 185 pp.

Keen, M. 1971. Sea Shells of Tropical West America. Stanford, California. 1000 pp.

Levinton, J. 1982. Marine Ecology. Printice Hall Inc. New York. U.S.A. 526 pp.

Liñeros, I. 1997. Poliquetos Bénticos de Venezuela. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumaná. Pp. 148.

Morales- N. A. G., D. E. Alston & A. Cabarcas. 2003. Preliminary effects of open-ocean cages on benthic marine invertebrate populations. April 3, 2003. VIII Sigma Xi Poster Day.



Rodríguez, G. 1980. Los Crustáceos del Caribe Venezolano. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas. 494 pp.

SALAZAR-VALLEJO, S.I., J.A. DE LEÓN-GONZÁLEZ Y H. SALAIHB-CES-POLANCO. 1989 (1988). Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México. Libros, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, 212 p.

Villalaz, J., C., A. Vega., J. Ávila & J. A. Gomes. 2002. Análisis Temporal de Macroinvertebrados Bentónicos en Playa el Agallito, Chitré. Tecnociencia. Vol.4. 2:111-126.

Warwick, R. & M. Ruswahyuni. 1987. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: Further evaluation of the species abundance- biomass method. Mar. Biol., 95: 193-200.

BIBLIOGRAFIA SOBRE MORTANDAD DEL TAMBORÍN NARIZÓN

Arrieta, A. U. (2013). Estructura de la comunidad de peces de la zona arrecifal de Puerto Viejo-Punta Mona, Limón, Costa Rica. Unpublished master's thesis, Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica.

Barrantes, N. (2010). Programa interpretativo del ecosistema marino de la Isla Quiribrí (Uvita), Limón. Unpublished licentiate's thesis, Universidad de Costa Rica, Montes de Oca, Costa Rica.

Berlinsky, D. L., Taylor, J. C., Howell, R., Bradley, T. M. & Smith, T. I. (2004). The effects of temperature and salinity on early life stages of black sea bass *Centropristis striata*. J. World Aquacult. Soc., 35(3), 335-344. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2004.tb00097.x>

Castillo, A. & Pérez, E. (2014). Aparecen muertos miles de peces Uas Moldugwas, de la especie, *Canthigaster rostrata*, en los Archipiélagos del Caribe Panameño. Gubiler. Retrieved on September 14, 2017 from <http://gubiler.blogspot.com/2014/11/aparecen-muertos-miles-de-peces-uas.html>

Cortés, J., Fonseca, A. C., Nivia-Ruiz, J., Nielsen-Muñoz, V., Samper-Villarreal, J., Salas, E., Martínez, S. & Zamora-Trejos, P. (2010). Monitoring coral reefs, seagrasses and mangroves in Costa Rica (CARICOMP). Rev. Biol. Trop., 58(3), 1-22.

Debrot, A. O. & Nagelkerken, I. (1997). A rare mass recruitment of the balloonfish (*Diodon holocanthus* L.) in the Leeward Dutch Antilles, 1994. Caribb. J. Sci., 33(3-4), 284-286.

Gutiérrez, T. (2014). Pescadores reportan miles de peces muertos en las playas del Caribe Sur. CRhoy. Retrieved on January 29, 2018 from <http://www.crhoy.com/archivo/pescadores-reportan-miles-de-peces-muertos-en-las-playas-del-caribe-sur-v3l7l8x/>

Holt, R. E. & Jørgensen, C. (2015). Climate change in fish: effects of respiratory constraints on optimal life history and behavior. Biol. Lett., 11, 1-5. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.1032>

El Isleño. (2017). Investigan muerte masiva de peces en San Andrés. Retrieved on September 14, 2017 from http://www.elisleño.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13259:investigan-muerte-masiva-de-peces-en-varios-sectores-de-la-isla&catid=41:ambiental&Itemid=83.



Jordán-Garza, A. G., Díaz-Almeyda, E. M., Iglesias-Prieto, R., Maldonado, M. A. & Ortega, J. (2009). Mass mortality of *Canthigaster rostrata* at the northeast coast of the Yucatan Peninsula. Coral Reefs, 28, 661. <https://doi.org/10.1007/s00338-009-0492-x>.

Kirtisinghe, P. (1934). Parasitic infection of porcupine fish. Nature, 133, 142. <https://doi.org/10.1038/133142a0>

Ochoa, J. L., Sánchez-Paz, A., Cruz-Villacorta, A., Núñez-Vázquez, E. & Sierra-Beltrán, A. (1997). Toxic events in the northwest Pacific coastline of Mexico during 1992-1995: origin and impact. Hydrobiologia, 352(1-2), 195-200. <https://doi.org/10.1023/A:1003015103760>

Piedra-Castro, L. (2017). Estrategia de manejo de recursos ecosistémicos marino-costeros en el Caribe Sur de Costa Rica, orientadas orientada a la adaptación a la variabilidad climática de las comunidades costeras. Unpublished doctoral dissertation, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Schaper, S. (1996). La comunidad de peces en el arrecife de Puerto Viejo (Limón, Costa Rica). Rev. Biol. Trop., 44(2), 923-925.

Shi, Y. H., Zhang, G. Y., Zhu, Y. Z., Liu, J. Z. & Zang, W. L. (2010). Effects of temperature on fertilized eggs and larvae of tawny puffer *Takifugu flavidus*. Aquacult. Res., 41(12), 1741-1747. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02460.x>

Sikkel, P. C. (1990). Social organization and spawning in the Atlantic sharpnose puffer, *Canthigaster rostrata* (Tetraodontidae). Environ. Biol. Fish., 27(4), 243-254. <https://doi.org/10.1007/BF00002743>.

Stier, A., Idjadi, J., Geange, S. & Jada-Simone, W. (2013). High mortality in a surgeonfish following an exceptional settlement event. Pac. Sci., 67(4), 533-538. <https://doi.org/10.2984/67.4.4>.

Trujillo, O. (2009). Dinámico de reclutamiento de peces de arrecife rocoso del suroeste del Golfo de California. Unpublished doctoral dissertation. Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Mexico.

Universidad de Costa Rica. (2016). Módulo de Información Oceanográfica. Retrieved on January 29, 2018 from <http://miocimar.ucr.ac.cr/content/temperatura-superficial-del-mar-24>.

Vali, A. L. & Sinclair-Taylor, T. (2011). Mass schooling and mortality of *Canthigaster bennetti* in Sulawesi. Coral Reefs, 30(1), 251-251. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0706-2>.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

DMA, Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS. MITECO (España). 2021.